Aus der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
Direktor: Prof. Dr. med. et Dr. med. dent. habil. H. Heuser

Untersuchungen über die Oberflächengestalt, die Härte und das Dimensionsverhalten von Kol-Dur

INAUGURAL - DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde der Hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps - Universität Marburg

vorgelegt von

Hannelore Heide, geb. Völkner

aus Stolp

Marburg 1969

Kleinoffsetdruck: Görich & Weiershäuser, Marburg

Aus der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
Direktor: Prof. Dr. med. et Dr. med. dent. habil. H. Heuser

Untersuchungen über die Oberflächengestalt, die Härte und das Dimensionsverhalten von Kol-Dur

INAUGURAL - DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde der Hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps - Universität Marburg

vorgelegt von

Hannelore Heide, geb. Völkner

aus Stolp

Marburg 1969

Kleinoffsetdruck: Görich & Weiershäuser, Marburg

UNIV. LEIDEN BIBL.

Angenommen von der Medizinischen Fakultät
der Universität Marburg am 10. 11. 1969

gedruckt mit Genehmigung der Fakultät
Dekan: Prof. Dr.rer.nat. P. Karlson
Referent: Prof. Dr.med.dent. H. Pantke
Korreferent: Prof.Dr.med.dent.Dr.med.dent.habil. H. Heuser

Meinen Eltern

in Dankbarkeit gewidmet

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41534909_0032

Inhaltsverzeichnis

	Seite
A. Einleitung	7
B. Hauptteil	9
I. Die Oberflächengestalt von Kol-Dur im Vergleich mit einigen gebräuchlichen Modell=werkstoffen	9
1. Allgemeine Betrachtungen	9
2. Die Oberflächengestalt von Kol-Dur bei variablen Mischungsverhältnissen in Abhängigkeit von Kunststoffolie und Lastic 55	10
a. Untersuchungsmethode	10
b. Untersuchungsergebnisse	14
3. Die Oberflächengestalt von Palavit M, Vel-Mix-Stone, Duroc, Divestment und DC-Bayer in Abhängigkeit von Kunststoffolie und Lastic 55	15
a. Untersuchungsmethode	15
b. Untersuchungsergebnisse	16
II. Härtemessungen an Kol-Dur im Vergleich mit Palavit M, Vel-Mix-Stone, Duroc, Divestment und DC-Bayer	22
1. Allgemeine Betrachtungen	22
2. Bestimmung der Vickers-Härte	23
a. Untersuchungsmethode	23
b. Statistische Auswertung der Versuchs=ergebnisse	25
c. Untersuchungsergebnisse - Tabellen und Diagramme	26
aa. Die Härte von Kol-Dur in Abhängig=keit vom Anrührverhältnis Flüssig=keit zu Pulver	40
bb. Einfluß der Temperatur auf die Härte	40

cc. Zunahme der Vickers-Härte in der Zeit 41
dd. Einfluß der Abbindeunterlage auf die Härte 42
ee. Die Vickers-Härte von Palavit M, Vel-Mix-Stone, Duroc, Divestment und DC-Bayer 43
3. Bestimmung der Ritzhärte 46
a. Untersuchungsmethode 46
b. Untersuchungsergebnisse 48

III. Das Dimensionsverhalten von Kol-Dur in Abhängigkeit von Lastic 55 54
a. Untersuchungsmethode 54
b. Untersuchungsergebnisse 59
c. Auswertung der Ergebnisse 63

C. Schlußbetrachtung 65

D. Zusammenfassung 71

E. Tabellenanhang 73

F. Literaturverzeichnis 83

A. Einleitung

In der konservierenden Zahnheilkunde gilt die Inlaytechnik unter den gegenwärtig üblichen Füllungsmethoden als die beste Möglichkeit zur dauerhaften Versorgung von kariösen Defekten.

Zur Herstellung von Gußfüllungen sind zwei Methoden gebräuchlich, die direkte und die indirekte Abdruckmethode. Bei der direkten Methode wird das Wachsmodell in der Kavität des Zahnes im Munde modelliert. Sie eignet sich für einflächige Kavitäten - okklusale Präparation, Zahnhalspräparation - oder auch für approximal-okklusale Kavitäten, die nach der von BLACK angegebenen Methode präpariert wurden. Bevorzugt wird jedoch für die sogenannte Black-Präparation das indirekte Abdruckverfahren, bei dem das Wachsmodell auf einem Arbeitsmodell außerhalb des Mundes hergestellt wird. Unerläßlich ist dieses Verfahren bei der Scheibenschliffpräparation.

Zu den Vorteilen der Gußfüllung zählt gegenüber den Füllungen aus plastischen Materialien (Amalgam, Zement, Kunststoff) hauptsächlich der unverändert gute Randschluß und damit die seltenere Sekundärkaries (PANTKE, HORN). Ferner werden die anatomisch exakt wiederherstellbaren Kontaktverhältnisse mit dem Nachbarzahn und die genaue Gestaltung des zervikalen Füllungsrandes im Approximalraum im Sinne der Paradontal-Prophylaxe von HARNDT, WANNENMACHER, PANTKE u.a. als besonders günstig gewertet. Ein weiterer Vorteil der Gußfüllung ist ihre große chemische und mechanische Widerstandsfähigkeit.

Die Probleme der Inlaytechnik liegen vor allem in den Fehlermöglichkeiten, die sowohl der Verfälschung durch die Arbeitstechnik als auch der Volumenveränderung der Werkstoffe entspringen.

Nach TORESKOG, PHILLIPS und SCHNELL liegt eine der Hauptfehlerquellen in dem Modellwerkstoff, aus dem das Arbeitsmodell gearbeitet wird. Die Skala der für die Inlaytechnik gebräuchlichen Modellmaterialien reicht von den Hartgipsen und den Modellzementen über die metallischen Werkstoffe (leichtschmelzende Legierungen, Amalgam, Spence-Masse, galvanoplasti-

sche Modellherstellung, Metall-Spritzverfahren) bis zu den Kunststoffen und keramischen Massen (SCHWINDLING).

An einen Modellwerkstoff sind verschiedene Forderungen zu stellen: eine minimale Expansion beim Übergang vom plastischen in den festen Zustand, eine weitgehende Kratz- und Kantenfestigkeit (Härte), eine glatte Oberfläche und eine einfache Verarbeitung (PANTKE, SCHWINDLING).

Keiner der gebräuchlichen Modellwerkstoffe erfüllt bisher alle diese Anforderungen gleichzeitig.

Mit Kol-Dur hat die Firma A. KETTENBACH einen Modellwerkstoff auf den Markt gebracht, der die guten Eigenschaften zweier Materialgruppen vereinen und die nachteiligen kompensieren soll.

Kol-Dur stellt eine Weiterentwicklung des Durit dar, das an der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten in Marburg von WIENHOLD untersucht worden ist. Kol-Dur enthält außer Gips und Kunstharz (Trimethylolmelamin) einen Zusatz von Kupferpulver, das nach KETTENBACH die Stelle galvanischer Verkupferung einnehmen soll.

Auf Grund seiner Zusammensetzung wäre von Kol-Dur zu erwarten:

1. Glatte Oberfläche durch den Kunstharzzusatz
2. Große Härte durch Kunstharz- und Kupferzusatz
3. Minimale Expansion durch Kombination von expandierendem Gips und kontrahierendem Kunstharz.

Nachdem Kol-Dur im zahntechnischen Laboratorium über längere Zeit mit Erfolg erprobt worden ist (GEHRKE), soll diese Arbeit experimentelle Untersuchungen über die Oberflächengestaltung, die Härte und das Dimensionsverhalten des neuen Werkstoffes vorlegen.

Wir wollten durch unsere Untersuchungen überprüfen, inwieweit Kol-Dur die auf Grund seiner Zusammensetzung angenommenen Eigenschaften tatsächlich besitzt.

Zum Vergleich mit Kol-Dur wurden Härte und Oberflächengestaltung einiger gebräuchlicher Modellmaterialien mitgeprüft.

B. Hauptteil

I. Die Oberflächengestalt von Kol-Dur im Vergleich mit einigen gebräuchlichen Modellmaterialien

1. Allgemeine Betrachtungen

Unter Oberflächengestalt versteht WEIKART die geometrische Form eines Körpers. Er unterscheidet zwischen makrogeometrischer und mikrogeometrischer Gestalt. Die makrogeometrische oder Grobgestalt "ist die Form der Oberfläche eines technischen Körpers als Ganzes geometrisch betrachtet". Die mikrogeometrische oder Feingestalt "ist die Form der Oberfläche eines technischen Körpers im Ausschnitt geometrisch betrachtet"(WEIKART).

Uns interessierte die mikrogeometrische Gestalt verschiedener Modellwerkstoffe. Sie läßt sich durch verschiedene Methoden meßtechnisch erfassen oder graphisch darstellen. Zum Beispiel durch Profilaufzeichnung mit Tastgeräten (Rauhtester, Oberflächenmeßgerät nach FORSTER, der Firma LEITZ, Wetzlar), mit optischen Geräten (Lichtschnittmikroskop, Interferenzmikroskop) oder mit dem Replica-Verfahren (WOLF, HEUSER, PANTKE u.a.).

Charakteristisch für die mikrogeometrische Oberflächengestalt eines Körpers ist das Ausmaß ihrer Rauhigkeit. Die Rauhigkeit ist nach JUNG definiert als das Verhältnis des Riefenabstandes zur Rauhtiefe. Als Rauhtiefe gilt die Entfernung von der höchsten Spitze bis zum tiefsten Tal der Profilkurve. Die Rauhtiefe erlaubt allein noch keine objektive Beurteilung der Oberflächengestalt eines Körpers, denn bei gleicher Rauhtiefe kann das Oberflächenprofil eine unterschiedliche Gestalt haben (Abb. 1, S. 10).

Bei serienmäßiger Ausmessung der Oberflächengestalt hilft sich die Industrie z.B. mit der Berechnung des Völligkeitsgrades, der das Verhältnis von mittlerer Rauhtiefe zu Rauhtiefe ausdrückt. Die mittlere Rauhtiefe wird dabei durch elektrische Integration ermittelt. Bei einer übersehbaren Anzahl von Mes-

sungen ist, wie im vorliegenden Fall, der direkte Profilkur=venvergleich am anschaulichsten.

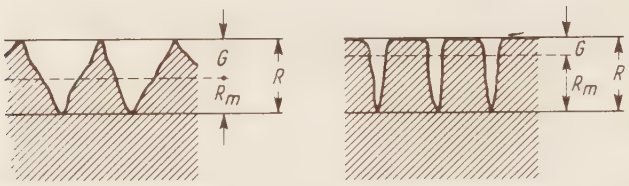


Abb. 1 nach WEIKART

Unterschiedliches Oberflächenprofil bei gleicher Rauhtiefe. R = Rauhtiefe, R_m = Mittlere Rauhtiefe, G = Glättungstiefe

2. Die Oberflächengestalt von Kol-Dur bei variablen Mischungs=verhältnissen in Abhängigkeit von Kunststoffolie und Lastic 55

Die ersten Untersuchungen sollten für Kol-Dur ein Mischungs=verhältnis von Pulver und Härterlösung ermitteln, bei dem der Werkstoff das günstigste Oberflächenprofil zeigt.

a. Untersuchungsmethode

Zur Aufzeichnung der mikrogeometrischen Oberflächengestalt der verschiedenen Kol-Dur-Prüflinge benutzten wir das LEITZ-OBERFLÄCHEN-MESSGERÄT nach FORSTER. Das Gerät erlaubt nicht nur die Ausmessung der Rauhtiefe, sondern gibt gleichzeitig eine graphische Darstellung der Oberflächengestalt eines Prüf-Kör=pers.

Über das Meßprinzip und die Meßwertaufzeichnung dieses Gerä=tes macht die Herstellerfirma u.a. nachfolgende Angaben: "Beim Meßvorgang tastet ein mechanischer Taster mit einer Sa=phierspitze (Radius 15 µm) die Oberfläche des Prüfstücks ab. Dabei wird je nach Verlauf der Oberflächenprofillinie der Tast=stift in seiner Höhenlage verändert. Die Auslenkungen der Tast=nadel beim Meßvorgang werden auf einen mit dem Taststift me=chanisch verbundenen Kippspiegel übertragen, der in zwei pris=

matischen Pfannenlagern liegt. Von einer Lichtquelle wird ein Lichtstrahl durch ein Kollimatorsystem auf den Kippspiegel geworfen und von dort reflektiert. Der reflektierte Strahl geht durch das Kollimatorsystem zurück und fällt auf einen halbdurchlässigen Spiegel, wo er in zwei Teilstrahlen zerlegt wird. Der eine Teilstrahl dient zur Meßwertanzeige und fällt auf eine mit einer Skala versehenen Mattscheibe. An der in µm geeichten Skala kann die Rauhtiefe ermittelt werden. Beim Antasten der Meßstrecke bewegt sich die Lichtmarke entsprechend dem Oberflächenprofil, wobei eine sehr starke Vergrößerung des Lichtmarkenweges gegenüber der des Tastnadelweges durch die mechanisch-optische Übersetzung erreicht wird. --
Zur Aufzeichnung des Profils der Meßstrecke ist das Gerät mit einer Registrierkamera versehen. Die durch den anderen Teilstrahl auf den Film geworfene Lichtmarke belichtet einen vorbeilaufenden Registrierstreifen, so daß nach dem Entwickeln des Streifens ein vergrößertes Bild der Profilgestalt sichtbar wird. Der Filmvorschub (100 mm/min) läuft mit dem Vorschub des Werkstückes durch Synchronmotore in beiden Antrieben synchron."

Das LEITZ-OBERFLÄCHENMESSGERÄT nach FORSTER bietet zur Auswahl Vertikalvergrößerungen von 1:250, 1:1000 und 1:2500 sowie Vorschubgeschwindigkeiten für das Werkstück von 4 mm, 1 mm und 0,1 mm pro Minute. Vorversuche ergaben für unsere Untersuchungen als günstige Werte einen Vorschub von 1 mm pro Minute und eine Vertikalvergrößerung von 1:1000.

Die Horizontalvergrößerung der Profilaufzeichnung ergibt sich aus dem Verhältnis der Vorschubgeschwindigkeit des Films zu der des Werkstückes.

Aus dem Verhältnis von Vertikalvergrößerung zu Horizontalvergrößerung resultiert eine Verzerrung des Profilbildes, sobald beide Vergrößerungen nicht den gleichen Maßstab haben. Bei den von uns gewählten Vergrößerungen ist das Profilbild in vertikaler Richtung zusammengeschoben. Die sich ergebende Verzerrung wird als Überhöhung bezeichnet.

Für unsere Untersuchungen mit dem FORSTER-Gerät gelten zusammengefaßt folgende Daten:

Vorschub des Werkstückes	1 mm / min
Vorschub des Films	100 mm / min
Vertikalvergrößerung	1:1000
Horizontalvergrößerung	1:100
Überhöhung	10:1

Demnach sind 10 cm auf dem Film (horizontal gemessen) 1 mm auf dem Prüfstück. 2,5 cm auf dem Film (vertikal gemessen) entsprechen 25 µ auf dem Prüfstück (Abb. 2).

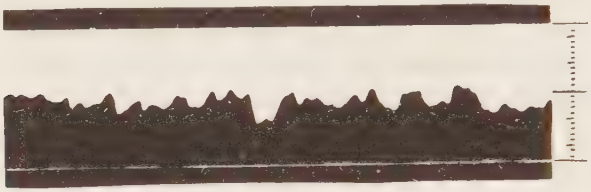


Abbildung 2
Profilbild einer 1 mm langen Oberflächenstrecke bei den von uns gewählten Vergrößerungen

Vertikal wurde an Abbildung 2 die Meßskala markiert, nach der die Ausmessung der Rauhtiefen erfolgte. Die weiße Linie, die die untere Abgrenzung der Skala bildet und der oberen schwarzen Begrenzung entspricht, wurde von uns nachgezogen, da sie bei den einzelnen Filmstreifen unterschiedlich sichtbar dargestellt war.

Für unsere Untersuchungen stellten wir Prüfkörper in folgenden Mischungsverhältnissen her: Kol-Dur-Pulver wurde mit Härterlösung im Verhältnis Flüssigkeit : Pulver 1:7, 1:9, 1:11, 1:13 und 1:17 angerührt und je zur Hälfte auf eine Kunststoffolie und eine Platte aus Lastic 55 verteilt. Diese Mischungsverhältnisse ergaben sich aus Vorversuchen, die wir durchführen mußten, da der Hersteller von Kol-Dur zunächst kein Mischungsverhältnis angab.*)

Kunststoffolie benutzten wir als Abbindeunterlage an Stelle von Glas, auf dem - seiner glatten Oberfläche wegen - normaler=

*) In den neueren Anwendungs-Vorschriften der Herstellerfirma für Kol-Dur, die wir während der Abfassung der Arbeit erhielten, wird ein Mischungsverhältnis für Härterlösung und Pulver von 1:15 empfohlen.

weise Prüflinge aus Modellmaterialien hergestellt werden. Bei Kol-Dur zeigten sich jedoch unterschiedliche Ergebnisse. So entstanden beim Aushärten auf Glas teilweise glatte und teilweise rauhe Oberflächen. Die Rauhigkeiten waren so groß, daß die Oberfläche mit bloßem Auge stumpf erschien. Den Grund für das Entstehen einer rauhen Oberfläche fanden wir in einem Haftenbleiben des Kol-Dur-Blockes an der Glasplatte. Eine Erklärung für dieses unterschiedliche Verhalten von Kol-Dur konnten wir nicht finden.

Da die Untersuchung von Kol-Dur im Vordergrund stand, war Glas als Abbindeunterlage also nicht geeignet. Als Ersatz bot sich Kunststoffolie an, deren Oberfläche, ebenso wie Glas, keine Rauhigkeit aufweist (Abb. 3).

Abbildung 3
Vergleich der Oberflächenprofile
von Glas und Kunststoffolie

Die Untersuchung der Oberflächengestalt von Modellmaterialien, die auf Glas oder Folie ausgehärtet haben, ist von mehr theoretischer Bedeutung. In der Praxis interessiert die Oberfläche in Abhängigkeit von einem Abdruckmaterial. Daher wurde Kol-Dur zusätzlich in Abhängigkeit von Lastic 55 überprüft. Kol-Dur ist nach KETTENBACH besonders auf Lastic 55 abgestimmt. Deshalb stellten wir uns eine Platte aus Lastic 55 als Abbindeunterlage auf einer Glasplatte her.

Das Oberflächenprofil von Lastic 55 selbst ließ sich mit dem Oberflächenmeßgerät nicht aufzeichnen, da der Taststift in das weiche Material einsank.

Die so hergestellten Prüfstücke aus Kol-Dur härteten 24 Stunden bei Zimmertemperatur. Anschließend erfolgte die Aufzeichnung des Oberflächenprofils mit dem Leitz-Oberflächenmeßgerät.

Von jeder Materialprobe wurde ein Filmstreifen von 50 cm Länge gedreht. Das abgelichtete Oberflächenprofil war für die jeweilige Probe auf dem 50 cm langen Registrierstreifen gleichbleibend charakteristisch. Es traten bei ein und derselben Probe keine erheblichen Unterschiede auf, so daß die abgebildeten Teilstreifen nicht nach besonderen Gesichtspunkten ausgewählt werden mußten.

b. Untersuchungsergebnisse

Die Registrierstreifen der Abbildungen 4 und 5 sind dem Pulver-Flüssigkeitsverhältnis nach geordnet, und zwar dem steigenden Pulveranteil nach. In Tabelle 1 sind die Rauhtiefen der einzelnen Kol-Dur-Proben in μ angegeben. Die Werte für die Rauhtiefen erhielten wir durch Vermessen des Abstandes zwischen Hüllinie und Grundlinie(HEHRING). Die Hüllinie verläuft durch den höchsten, die Grundlinie durch den tiefsten Punkt der Profilkurve.

Aus den Profilkurven der Abbildung 4 und 5 und aus den Meßwerten der Tabelle 1 ist zu ersehen, daß Kol-Dur in Abhängigkeit von Kunststoffolie genauso wie in Abhängigkeit von Lastic 55 mit zunehmendem Pulveranteil eine glattere Oberfläche bekommt.

Eine Ausnahme bildet Kol-Dur im Mischungsverhältnis 1:17, das auf einer Lastic-55-Unterlage ausgehärtet ist. Die Oberfläche dieser Probe ist geringfügig rauher als die Oberfläche der Probe mit dem Mischungsverhältnis 1:13.

Am günstigsten ist die Oberfläche der Mischungsverhältnisse Flüssigkeit : Pulver = 1:11 und 1:13 zu bewerten, deren Rauhtiefen zwischen 5 und 6 μ liegen. Bei einem Mischungsverhältnis von 1:17 zeigt Kol-Dur ebenfalls eine günstige mikrogeo-

metrische Oberflächengestalt. Es muß jedoch berücksichtigt werden, daß bei diesem Mischungsverhältnis die Oberfläche von Kol-Dur sehr viele Luftbläschen enthält. Dadurch ist die Oberfläche makroskopisch rauh, obwohl die zwischen den Luftbläschen liegenden Oberflächenbezirke sehr glatt sein können, wie das abgelichtete Profil zeigt. Am ungünstigsten schneiden die Mischungsverhältnisse von 1:7 und 1:9 ab.

Vergleichen wir die Abbildungen 4 und 5 miteinander, so können wir den Oberflächenprofilen weiterhin entnehmen, daß die Oberfläche von Kol-Dur durch den Kontakt mit Lastic 55 negativ beeinflußt wird. Bei allen fünf Kol-Dur-Mischungsverhältnissen sieht man eine Steigerung der Rauhigkeit bei Verarbeitung von Kol-Dur in Verbindung mit Lastic 55.

3. Die Oberflächengestalt von Palavit M, Vel-Mix-Stone, Duroc, Divestment und DC-Bayer in Abhängigkeit von Kunststoffolie und Lastic 55

Im nun folgenden Kapitel wurde die mikrogeometrische Oberflächengestalt einiger für die Inlaytechnik gebräuchlicher Modellmaterialien aufgezeichnet und mit Kol-Dur verglichen.

a. Untersuchungsmethode

Die wiederum mit dem Oberflächenmeßgerät nach FORSTER untersuchten Materialproben wurden in folgenden Mischungsverhältnissen hergestellt:

Material	Pulver	Flüssigkeit
Palavit M	10 g	4 g Monomer
Vel-Mix-Stone	100 g	25 cm^3 Wasser
Duroc	100 g	24 cm^3 Wasser
Divestment	100 g	28 cm^3 Härterlösung
DC-Bayer	100 g	28 cm^3 Wasser

Wir hielten uns damit an die Vorschriften der Hersteller.

Das Probematerial wurde auch für diese Untersuchungen zum Abbinden auf Kunststoffolie und Lastic 55 verteilt. Die Prüf-

stücke härteten 24 Stunden bei Zimmertemperatur, bevor wir das Oberflächenprofil aufzeichneten.

b. Untersuchungsergebnisse

Die Registrierstreifen der Abbildung 6 zeigen die Oberflächenprofile der untersuchten Modellwerkstoffe in Abhängigkeit von Kunststoffolie. Die Streifen sind der Rauheit der Materialien nach geordnet. In Tabelle 2 sind die Mittelwerte der Rauhtiefen in µ angegeben, die wir durch Ausmessen der entsprechenden Profilkurven erhielten. Die glatteste Oberfläche zeigt erwartungsgemäß das Palavit M mit einer Rauhtiefe von 2,1 µ. Es folgen Vel-Mix-Stone mit 7,4 µ und Duroc mit 11 µ. Divestment und DC-Bayer, die gleichzeitig als Modellwerkstoff und Einbettmasse fungieren, zeigen mit Rauhtiefen von 12,2 µ und 18 µ ungünstigere Werte. Kol-Dur im Mischungsverhältnis 1:13, das zum Vergleich der Abbildung 6 hinzugefügt wurde, war mit einer Rauhtiefe von 5,2 µ zwischen Palavit M und Vel-Mix-Stone einzuordnen.

In Abbildung 7 sind die Registrierstreifen der in Abhängigkeit von Lastic 55 geprüften Materialien ebenfalls dem Rauhigkeitsgrad nach angeordnet. Die entsprechenden Rauhtiefen sind wiederum der Tabelle 2 zu entnehmen. Bei jedem der Werkstoffe wird eine Steigerung der Rauhigkeit in Abhängigkeit von Lastic 55 deutlich. Die Rauhtiefe von Vel-Mix-Stone mit 14 µ und Duroc mit 19,1 µ ist gegenüber den auf Folie hergestellten Prüflingen desselben Materials fast um das Doppelte gestiegen. Die Werte für DC-Bayer gehen sogar über den Meßbereich von 25 µ hinaus.

Auffallend ist bei diesen Versuchen die besonders erhöhte Rauhigkeit der Oberfläche von Palavit M, die schon makroskopisch stumpf und glanzlos erscheint. Die Rauhtiefe von Palavit M mißt hier 11,5 µ und ist gegenüber der auf Folie hergestellten Palavit-M-Probe um das Fünffache gestiegen. Bei Verarbeitung in Verbindung mit Lastic 55 zeigt Kol-Dur, verglichen mit den übrigen Werkstoffen, den günstigsten Wert mit einer Rauhtiefe von 5,5 µ. Kol-Dur steht daher in Abbildung 7 an erster Stelle.

Abb. 4 Oberflächenprofile von Kol-Dur bei verschiedenen Mischungsverhältnissen in Abhängigkeit von Kunststoffolie

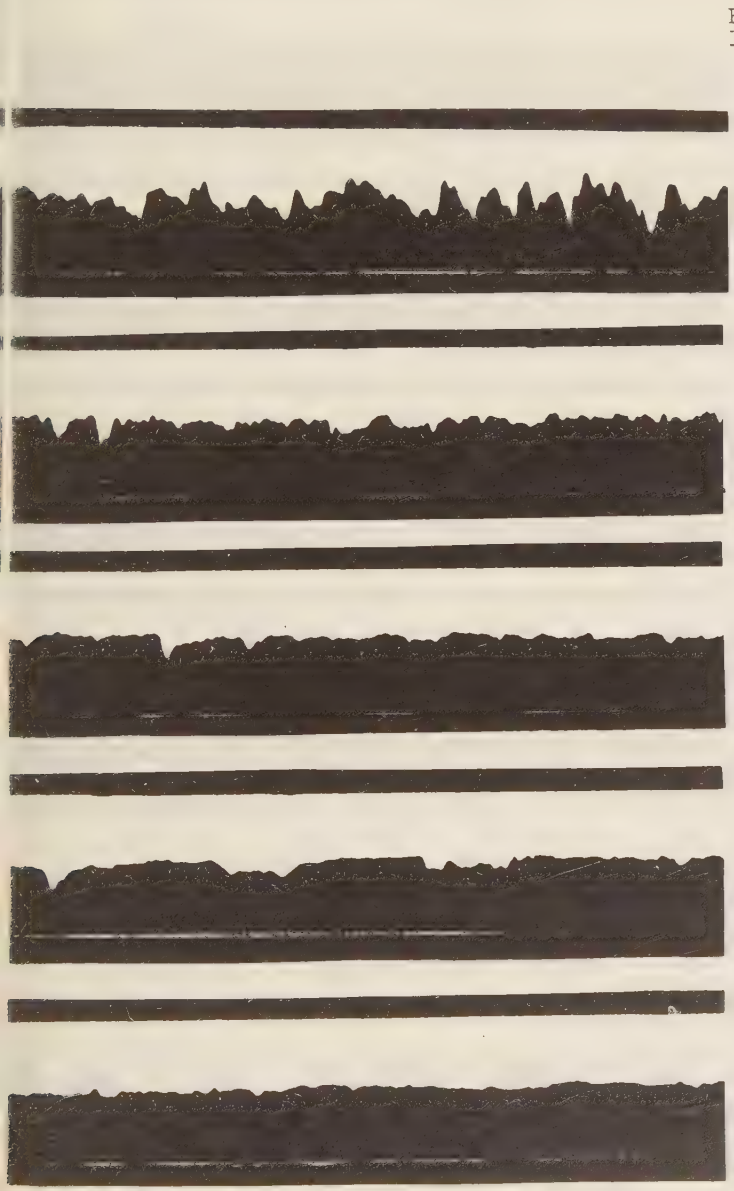


Abb. 5 Oberflächenprofile von Kol-Dur bei verschiedenen Mischungsverhältnissen in Abhängigkeit von Lastic 55

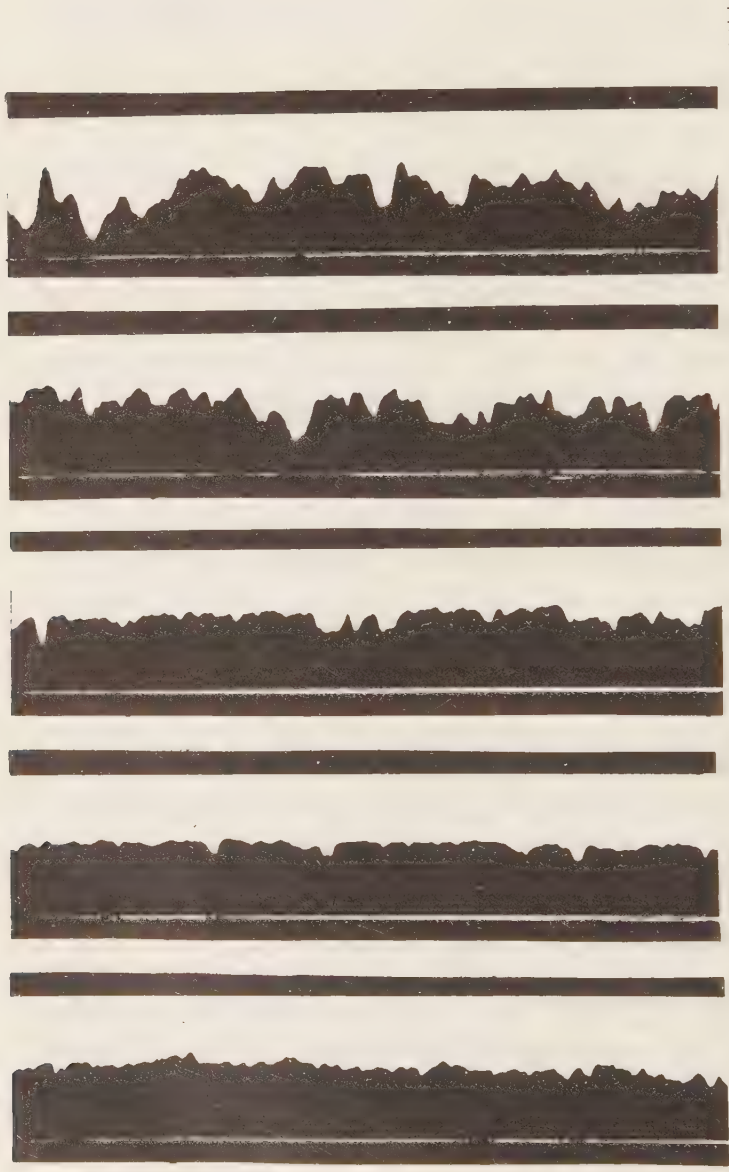


Abb. 6 Oberflächenprofile von Palavit M, Kol-Dur, Vel-Mix-Stone, Duroc, Divestment und DC-Bayer in Abhängigkeit von Kunststoffolie

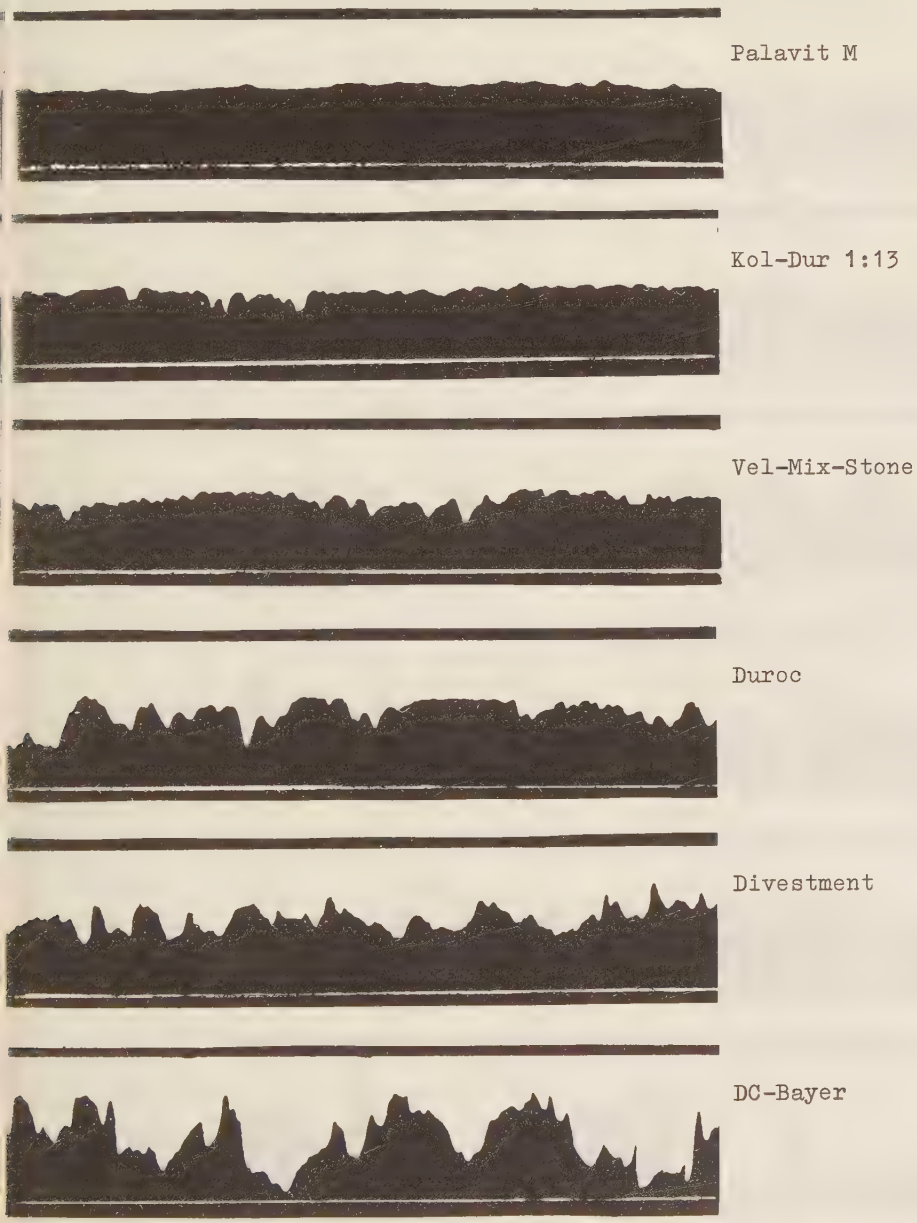


Abb. 7 Oberflächenprofile von Palavit M, Kol-Dur, Vel-Mix-Stone, Duroc, Divestment und DC-Bayer in Abhängigkeit von Lastic 55

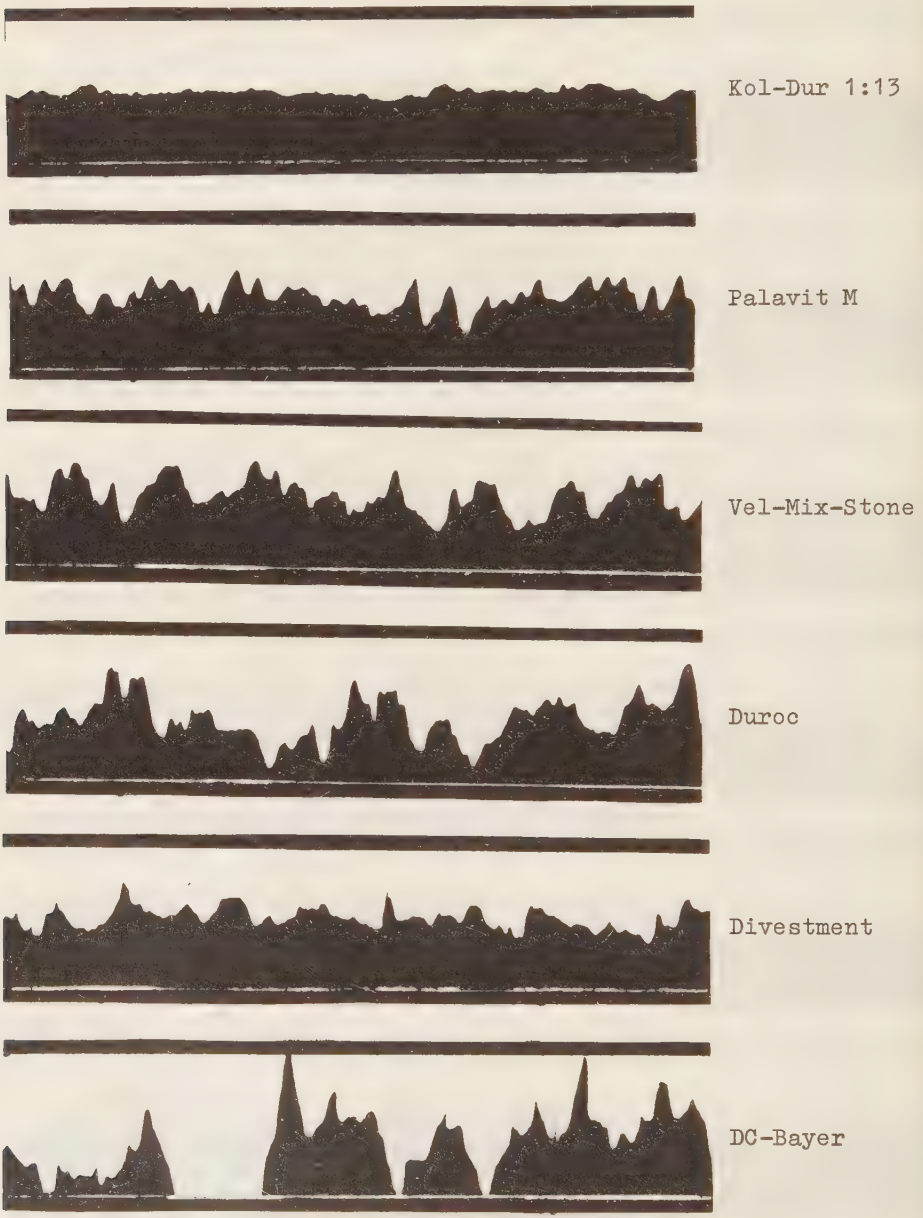


Tabelle 1

Die Rauhtiefen von Kol-Dur bei verschiedenen Mischungsverhältnissen von Härterlösung und Pulver in Abhängigkeit von Kunststoffolie und Lastic 55

Mischungsverhältnis Härterlösung:Pulver	Kunststoffolie Rauhtiefe in µ	Lastic 55 Rauhtiefe in µ
1 : 7	10,0	13,5
1 : 9	6,0	10,0
1 : 11	6,0	6,1
1 : 13	5,2	5,5
1 : 17	3,5	6,2

Tabelle 2

Die Rauhtiefen von Palavit M, Vel-Mix-Stone, Duroc, Divestment, DC-Bayer und Kol-Dur in Abhängigkeit von Kunststoffolie und Lastic 55

	Kunststoffolie Rauhtiefe in µ	Lastic 55 Rauhtiefe in µ
Palavit M	2,1	11,5
Vel-Mix-Stone	7,4	14,0
Duroc	11,0	19,1
Divestment	12,2	18,2
DC-Bayer	18,0	über 25
Kol-Dur 1:13	5,2	5,5

II. Härtemessungen an Kol-Dur im Vergleich mit Palavit M, Vel-Mix-Stone, Duroc, Divestment und DC-Bayer

1. Allgemeine Betrachtungen

Ebenso wie die Oberflächengestalt ist die Härte ein wichtiges Kriterium zur Beurteilung eines Modellwerkstoffes. Der Begriff der Härte ist jedoch physikalisch nicht eindeutig definiert (FRANK). Es handelt sich vielmehr um einen Sammelbegriff verschiedener Werkstoffeigenschaften. So können je nach angewandter Härtemeßmethode z.B. Elastizität, Zugfestigkeit, Streckgrenze oder Sprödigkeit den Härtegrad beeinflussen (MOTT). Vorbedingung für die Vergleichbarkeit von Härtewerten ist daher die gleiche Meßmethode.

Im allgemeinen versteht man heute unter Härte den Widerstand, den ein Körper dem Eindringen eines anderen härteren entgegensetzt (LEHMANN).

Die Härte kann durch Eindringverfahren oder Ritzverfahren ermittelt werden. Die folgende Zusammenstellung nach WEIKART gibt einen Überblick über die gebräuchlichen Härtemeßmethoden.

Eindringverfahren:

1. statisch: Brinellhärte
   Vickers-Härte
   Rockwellhärte
2. dynamisch: Poldihammer
   Shorehärte

Ritzhärte:

1. Mohs'sche Härteskala
2. Ritzhärte nach Martens

In der vorliegenden Arbeit wurde die Härte der Modellmaterialien einmal mittels einer statischen Härtemeßmethode (Vickers-Härte) gemessen, außerdem bestimmten wir die Ritzhärte nach MARTENS, da die zu untersuchenden Modellwerkstoffe

durch den Gebrauch von scharfen Modellierinstrumenten bei der Wachsmodellherstellung hauptsächlich durch schabende, schneidende und kratzende Kräfte beschädigt werden.

2. Bestimmung der Vickers-Härte

Die Vickers-Härteprüfung gehört zu den Eindringverfahren. Sie bedient sich als Eindringkörper einer regelmäßigen, vierseitigen Diamantpyramide mit einem Öffnungswinkel von 136°. Aus dem arithmetischen Mittel der beiden Eindruckdiagonalen berechnet sich die Vickers-Härte folgendermaßen:

$$HV = \frac{1854 \cdot P}{d^2} [kg/mm^2]$$

HV = Vickers-Härte
P = Prüfkraft in Gramm
d = arithmetisches Mittel der beiden Eindruckdiagonalen in μ

a. Untersuchungsmethode

Die Bestimmung der Vickers-Härte führten wir mit dem Kleinhärteprüfer "Durimet" der Firma LEITZ-Wetzlar durch, der mit einem "Präzisionsmeßmikroskop" ausgerüstet ist. Die Fehlergrenzen des Gerätes liegen nach Angaben der Herstellerfirma bei $\pm$ 2%.

Die Senkzeit des Eindringkörpers betrug stets 15 Sekunden, weitere 15 Sekunden wirkte die Diamantspitze auf das Testobjekt ein.

Auf Grund von Vorversuchen entschieden wir uns für eine Prüfkraft von 2 kg. Bei Verwendung von kleineren Kräften erhielten wir in der rauhen und porösen Oberfläche der untersuchten Gipse keine klar begrenzten, ablesbaren Eindrücke. Die Vickershärtebestimmung mit kleineren Kräften setzt eine extrem glatte Oberfläche voraus, wie z.B. hochglanzpolierte Metalloberflächen (WEIKART). Da die Prüfkraft von 2 kg in unserem weichen Untersuchungsmaterial - verglichen mit Metallen - relativ große Eindrücke verursachte (s. Abb. 8), erfolgte die Ausmessung der Eindruckdiagonalen mit dem eingebauten Meßmikroskop bei 10-facher Vergrößerung.

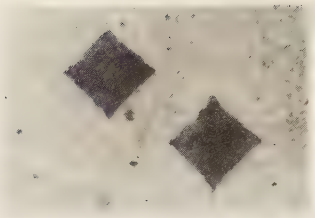


Abbildung 8
Vickers-Härtemeßeindrücke auf der Oberfläche von Kol-Dur (ca. 25fach vergrößert)

Mit einer Prüfkraft von 2 kg kann die von uns durchgeführte Härtebestimmung als Kleinlasthärteprüfung bezeichnet werden. Die Kleinlasthärteprüfung wird nach MOTT mit Prüfkräften zwischen 0,2 und 3 kg durchgeführt. Mit der Makrohärteprüfung, die mit Prüfkräften über 3 kg arbeitet, wird das Kristallgefüge in seiner Gesamtheit erfaßt. Bei der Mikrohärteprüfung betragen die Prüfkräfte weniger als 0,2 kg. Mit dieser Methode werden nach FRANK kleinste Gefügebereiche erfaßt.

Die Prüfkörper aus Kol-Dur wurden im Verhältnis Härterlösung : Pulver 1:7, 1:9, 1:11, 1:13 und 1:17, den Oberflächenmessungen entsprechend, angerührt und wiederum auf Unterlagen von Kunststoffolie und Lastic 55 verteilt. Außerdem untersuchten wir das Härteverhalten von Kol-Dur in Abhängigkeit von der Zeitdauer des Aushärteprozesses sowie den Einfluß eines Wärmestoßes verschieden hoher Temperaturen während des Aushärtens. Von der Firma A.KETTENBACH wird ein Wärmestoß bis zu 80°C zum Aushärten des Materials empfohlen.

Wir härteten die Kol-Dur-Proben bei Temperaturen von 50, 60, 70 und 80 Grad Celsius jeweils 1/2, 1, 2 und 4 Stunden im Memmertschrank. Außerdem ließen wir andere Proben bei einer Temperatur von 20 Grad Celsius (Zimmertemperatur) 24, 48, 76 Stunden und 1 Woche aushärten, bevor wir die Bestimmung der Vickers-Härte durchführten.

Die Prüflinge aus Palavit M, Vel-Mix-Stone, Duroc, Divestment und DC-Bayer wurden nach den auf Seite 15 angegebenen Bedingungen hergestellt. Nach 24stündiger Aushärtezeit erfolgte die Messung der Vickers-Härte HV.

Um unverzerrte Eindrücke mit dem Vickers-Diamanten zu erhalten, mußte die Oberfläche der Prüfobjekte mit der Meßtischplatte parallelisiert werden. Dazu drückten wir die Werkstoffproben mit einer Handpresse der Firma LEITZ in weiche Stentsmasse ein.

b. Statistische Auswertung der Versuchsergebnisse

Die später aufgeführten Tabellen 3-8 geben für Werkstoffproben, die unter jeweils gleichen Bedingungen hergestellt wurden (gleiches Mischungsverhältnis, gleiche Zeitdauer des Aushärtens, gleicher Temperaturstoß und gleiche Abbindeunterlage), folgende Werte an:

1. Mittelwert der Vickers-Härtegrade HV aus 10 Versuchen:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i}{N}$$

2. Standardabweichung:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

x_i = Einzelwert
$\bar{x}$ = Mittelwert
N = Anzahl der Versuche

3. Mittlerer Fehler des Mittelwertes

$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{N}}$$

4. a. Untere Vertrauensgrenze: $\bar{x} - t \cdot s_{\bar{x}}$

b. Obere Vertrauensgrenze: $\bar{x} + t \cdot s_{\bar{x}}$

$t = 2{,}262$ für $P = 0{,}05$

t bedeutet die Signifikanzschranke der STUDENT-Verteilung. Wir entnahmen den t-Wert von 2,262, der 9 Freiheitsgraden und einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% entspricht, einer t-Wert-Tabelle für gegebene Wahrscheinlichkeiten P. Die obere und untere Vertrauensgrenze schließt den sogenannten Vertrauensbereich ein.

An Hand der Vertrauensgrenzen können Aussagen über die

Signifikanz der Differenz zweier Mittelwerte gemacht werden. Nach DOCUMENTA GEIGY "gilt die Interpretation eines signifikanten Unterschiedes, wenn die Prüfgröße die (Vertrauens-)Grenzen berührt oder außerhalb liegt".

Bei den von uns durchgeführten Härtebestimmungen interessierte, ob erstens signifikante Unterschiede in der Härte zwischen Kol-Dur und den übrigen mitgetesteten Werkstoffen und zweitens zwischen den einzelnen, unter variablen Bedingungen hergestellten Kol-Dur-Proben bestehen.

c. Untersuchungsergebnisse - Tabellen und Diagramme

Wie zuvor schon beschrieben wurde, führten wir die Bestimmung der Vickers-Härte an Kol-Dur-Proben durch, die fünf verschiedenen Temperaturstößen während des Aushärteprozesses ausgesetzt waren. Entsprechend diesen fünf Temperaturgraden bildeten wir fünf Versuchsgruppen, die auch als Grundlage für die Anordnung der Tabellen 3 bis 7 dienten. Nachfolgende Zusammenstellung soll eine Übersicht über die einzelnen Versuchsgruppen geben.

Versuchsgruppe I (s. Diagr. 1 u. Tab. 3)

Kol-Dur
Aushärtungstemperatur: 20° C
Unterlage : Lastic 55, Folie
Mischungsverhältnis : 1:7, 1:9, 1:11, 1:13, 1:17
Aushärtungszeit : 24^{h}, 48^{h}, 72^{h}, 168^{h}

Versuchsgruppe II (s. Diagr. 2 u. Tab. 4)

Kol-Dur
Aushärtungstemperatur: 50° C
Unterlage : Lastic 55, Folie
Mischungsverhältnis : 1:7, 1:9, 1:11, 1:13, 1:17
Aushärtungszeit : $1/2^{h}$, 1^{h}, 2^{h}, 4^{h}

Versuchsgruppe III (s. Diagr. 3 u. Tab. 5)

Kol-Dur
Aushärtungstemperatur: 60° C
Unterlage : Lastic 55, Folie
Mischungsverhältnis : 1:7, 1:9, 1:11, 1:13, 1:17
Aushärtungszeit : $1/2^h$, 1^h, 2^h, 4^h

Versuchsgruppe IV (s. Diagr. 4 u. Tab. 6)

Kol-Dur
Aushärtungstemperatur: 70° C
Unterlage : Lastic 55, Folie
Mischungsverhältnis : 1:7, 1:9, 1:11, 1:13, 1:17
Aushärtungszeit : $1/2^h$, 1^h, 2^h, 4^h

Versuchsgruppe V (s. Diagr. 5 u. Tab. 7)

Kol-Dur
Aushärtungstemperatur: 80° C
Unterlage : Lastic 55, Folie
Mischungsverhältnis : 1:7, 1:9, 1:11, 1:13, 1:17
Aushärtungszeit : $1/2^h$, 1^h, 2^h, 4^h

Eine weitere, sechste Versuchsgruppe bildeten die zum Vergleich mituntersuchten Modellmaterialien:

Versuchsgruppe VI (s. Diagr. 7 u. Tab. 8)

Palavit M, Vel-Mix-Stone, Duroc, Divestment, DC-Bayer
Aushärtungstemperatur: 20° C
Unterlage : Lastic 55, Folie
Mischungsverhältnis : nach Vorschrift der Hersteller
Aushärtungszeit : 24^h

Die folgenden Tabellen 3-7 wurden vom Computer der Zentralen Rechenanlage der Universität Marburg ausgedruckt. Sie geben einen Überblick über die Veränderungen der Vickers-Härte von Kol-Dur unter den verschiedenen Versuchsbedingungen. Die Werte sind vertikal nach den zunehmenden Aushärtungszeiten (in Stunden), horizontal nach den Mischungsverhältnissen mit steigendem Pulveranteil (in Gramm) geordnet. Angegeben sind jedesmal - von oben nach unten - das arithmetische Mittel aus 10 Einzelmessungen in Vickers-Härtegraden, die Standardabweichung, der mittlere Fehler des Mittelwertes, die untere und die obere Vertrauensgrenze.

Tabelle 3a VICKERS-HAERTE

LAGERUNG 20 GRAD C

	1: 7	1: 9	1:11	1:13	1:17
	7.897	12.537	13.506	15.289	17.684
	0.592	0.648	0.258	0.840	1.352
24	0.187	0.205	0.082	0.266	0.427
	7.474	12.074	13.321	14.689	16.717
	8.321	13.000	13.690	15.890	18.650
	11.774	15.014	15.935	20.193	27.116
	0.906	0.593	0.678	0.576	1.764
48	0.286	0.187	0.214	0.182	0.558
	11.126	14.592	15.450	19.781	25.854
	12.422	15.436	16.420	20.605	28.378
	13.368	16.437	18.590	23.961	26.463
	0.803	0.670	0.796	1.769	1.429
72	0.254	0.212	0.252	0.559	0.452
	12.793	15.957	18.021	22.696	25.440
	13.942	16.916	19.159	25.226	27.485
	13.998	17.311	19.044	24.298	27.883
	0.395	0.677	0.641	1.214	1.191
168	0.125	0.214	0.203	0.384	0.376
	13.715	16.827	18.586	23.429	27.032
	14.280	17.795	19.503	25.166	28.735

Tabelle 3b FOLIE 20 GRAD C

	1: 7	1: 9	1:11	1:13	1:17
	9.655	12.883	14.059	18.315	23.138
	0.368	0.524	0.461	1.083	1.450
24	0.116	0.166	0.146	0.342	0.459
	9.392	12.568	13.729	17.541	22.101
	9.918	13.258	14.389	19.090	24.176
	12.387	18.395	18.802	26.146	26.870
	0.580	1.250	0.791	1.516	1.432
48	0.183	0.395	0.250	0.479	0.453
	11.973	17.411	18.236	25.061	25.846
	12.802	19.199	19.368	27.230	27.894
	13.259	18.542	21.051	27.425	28.117
	0.644	0.793	0.584	1.326	2.094
72	0.204	0.251	0.185	0.419	0.662
	12.799	17.975	20.634	26.477	26.620
	13.720	19.109	21.469	28.374	29.615
	14.966	19.618	21.588	27.699	28.796
	1.272	1.014	1.388	1.379	1.697
168	0.402	0.321	0.439	0.436	0.537
	14.056	18.885	20.595	26.713	27.583
	15.876	20.335	22.581	28.685	30.010

Tabelle 4a

ACRYLGLAS-HAERTE

LASTIC 50 GRAD C

	1: 7	1: 9	1:11	1:13	1:17
	5.947	6.818	8.445	9.412	11.749
	0.288	0.341	0.191	0.352	0.329
1 2	0.091	0.108	0.060	0.111	0.104
	5.741	6.566	8.309	9.160	11.514
	6.154	7.054	8.581	9.663	11.984
	7.183	10.318	11.192	13.184	16.579
	0.653	0.290	0.400	0.532	0.855
	0.206	0.092	0.126	0.168	0.271
	6.716	10.111	10.986	12.753	15.967
	7.649	10.525	11.478	13.514	17.191
	8.561	11.465	13.984	15.787	18.713
	0.194	0.465	0.272	0.591	0.784
2	0.061	0.147	0.086	0.187	0.248
	8.422	11.161	13.790	15.364	18.152
	8.699	11.796	14.179	16.209	19.274
	9.092	13.084	17.148	18.662	23.041
	0.455	0.592	0.558	0.349	0.959
4	0.144	0.187	0.176	0.126	0.303
	8.767	12.586	16.749	18.377	22.354
	9.418	13.427	17.547	18.947	23.727

Tabelle 4b

FOLIE 50 GRAD C

	1: 7	1: 9	1:11	1:13	1:17
	6.113	7.498	8.590	10.551	12.144
	0.432	0.284	0.328	0.502	0.552
1 2	0.137	0.098	0.104	0.159	0.174
	5.804	7.294	8.355	10.192	11.750
	6.422	7.761	8.824	10.910	12.539
	7.292	10.754	12.883	14.158	19.216
	0.740	0.528	0.613	0.540	0.968
	0.234	0.167	0.194	0.171	0.306
	6.763	10.376	12.445	13.771	18.523
	7.821	11.132	13.322	14.544	19.908
	8.573	11.849	14.628	16.695	21.091
	0.297	0.358	0.572	0.844	0.834
2	0.094	0.113	0.181	0.267	0.264
	8.360	11.593	14.218	16.092	20.494
	8.785	12.195	15.037	17.299	21.687
	9.465	13.784	17.183	19.878	22.912
	0.278	0.575	0.439	1.175	1.170
4	0.088	0.182	0.139	0.372	0.370
	9.266	13.373	16.869	19.038	22.074
	9.664	14.195	17.497	20.719	23.749

Tabelle 5a VICKERS-HÄRTE

LASTIC 60 GRAD C

	1: 7	1: 9	1:11	1:13	1:17
	8.438	10.328	11.291	13.876	15.429
	0.399	0.333	0.524	0.421	0.631
1/2	0.126	0.105	0.166	0.133	0.199
	8.153	10.090	10.917	13.575	14.978
	8.724	10.567	11.666	14.177	15.880
	8.643	12.368	14.116	16.877	21.287
	0.291	0.328	0.621	0.731	1.644
	0.092	0.104	0.196	0.231	0.520
	8.436	12.130	13.672	16.354	20.111
	8.851	12.652	14.560	17.400	22.462
	8.887	13.448	17.801	19 828	24.915
	0.234	0.685	0.655	0.636	0.552
2	0.074	0.217	0.207	0.201	0.175
	8.720	12.956	17.332	19 372	24.521
	9.054	13.938	18.270	20.283	25.310
	9.736	14.784	18.173	21.154	25.596
	0.316	0.457	0.934	0.894	0.815
4	0.100	0.144	0.295	0.283	0.258
	9.510	14.457	17.505	20.515	25.013
	9.962	15.110	18.841	21 793	26.180

Tabelle 5b FOLIE 60 GRAD C

	1: 7	1: 9	1:11	1:13	1:17
	9.164	11.260	13.159	15.281	17.995
	0.417	0.437	0.476	0.891	0.478
1/2	0.132	0.138	0.151	0.282	0.151
	8.866	10.948	12.818	14.643	17.654
	9.463	11.573	13.499	15.918	18.337
	9.723	12.937	14.545	17.776	21.976
	0.468	0.379	0.491	0.928	0.848
1	0.148	0.120	0.155	0.293	0.268
	9.388	12.666	14.194	17.113	21.369
	10.058	13.208	14.896	18.440	22.583
	9.144	14.188	17.283	19.557	25.027
	0.314	0.333	0.710	0.873	1.593
2	0.099	0.105	0.224	0.276	0.504
	8.919	13.949	16.775	18.932	23.888
	9.368	14.426	17.790	20.181	26.167
	9.994	15.576	18.494	20 898	25.558
	0.339	0.663	1.191	0.683	1.565
4	0.107	0.210	0.377	0.216	0.495
	9.752	15.181	17.642	20 418	24.436
	10.236	16.050	19.346	21.387	26.677

Tabelle 6a

WICKERS-HAERTE

LASTIC 70 GRAD C

	1: 7	1: 9	1:11	1:13	1:17
	9,240	12,626	14,729	16,883	20,305
	0,301	0,680	0,728	0,632	0,696
1/2	0,095	0,190	0,230	0,200	0,220
	9,825	12,197	14,208	16,451	19,807
	9,455	13,056	15,249	17,335	20,803
	9,442	13,238	15,452	17,521	25,856
	0,284	0,461	0,711	0,568	0,732
	0,090	0,146	0,225	0,180	0,232
	9,239	12,908	14,943	17,114	25,332
	9,645	13,568	15,961	17,928	26,380
	9,440	14,486	17,934	21,494	27,861
	0,219	0,522	0,941	1,134	1,294
	0,069	0,165	0,298	0,359	0,409
	9,283	14,112	17,261	20,683	26,135
	9,597	14,859	18,608	22,305	27,987
	9,926	15,465	19,895	22,291	28,199
	0,249	0,533	0,596	0,862	1,568
4	0,079	0,169	0,189	0,272	0,496
	9,748	15,084	19,469	21,675	27,078
	10,104	15,847	20,322	22,908	29,321

Tabelle 6b

FOLIE 70 GRAD C

	1: 7	1: 9	1:11	1:13	1:17
	9,826	13,183	15,624	17,406	22,470
	0,435	0,461	0,683	0,528	1,515
1/2	0,137	0,146	0,216	0,167	0,479
	9,515	12,853	15,135	17,028	21,387
	10,136	13,513	16,112	17,784	23,554
	10,038	14,092	16,351	18,718	25,241
	0,418	0,368	0,551	0,566	4,084
"	0,132	0,116	0,111	0,179	1,291
	9,739	13,739	16,100	18,313	22,320
	10,336	14,266	16,602	19,122	28,162
	10,238	15,236	18,646	23,235	29,861
	0,378	0,705	0,698	1,990	2,136
2	0,120	0,223	0,221	0,629	0,675
	9,967	14,731	18,148	21,812	28,334
	10,508	15,740	19,145	24,659	31,389
	10,241	16,459	22,566	24,250	29,632
	0,394	0,686	1,020	2,128	2,029
4	0,125	0,217	0,323	0,673	0,642
	9,959	15,918	21,836	22,727	28,180
	10,523	16,930	23,296	25,772	31,083

Tabelle 7a VICKERS-HÄRTE

LAS 10 80 GRAD C

	1: 7	1: 9	1 11	1:13	1:17
	9.219	2.765	16.455	17.474	21.543
	0.366	0.362	0.670	0.429	1.103
1/2	0.116	1.115	0.212	0.196	0.349
	8.957	12.527	15.976	17 168	20.754
	9.480	13.246	16.934	17.781	22.332
	9.517	14.141	17.260	20.396	25.824
	0.327	0.422	0.698	0 971	0.875
	0.103	0.133	0 221	0 307	0.277
	9.183	13.742	16.760	19 791	25.198
	9.659	14.343	17.759	21....	26.450
	9.601	15 415	20.038	22 211	28.158
	0.254	0.794	1.209	1.648	1.293
/	0.080	0.252	0.382	0 521	0.409
	9.420	14.842	19.174	21 516	27.184
	9.783	15.977	20.993	22.543	29.033
	10.127	16 064	22.402	21.648	28.402
	0.191	0.678	0.966	0 826	0.935
4	0.060	0.214	0.305	0.261	0.296
	9.990	15 579	21.711	21 117	27.733
	10.264	16 549	23.093	22.288	29.071

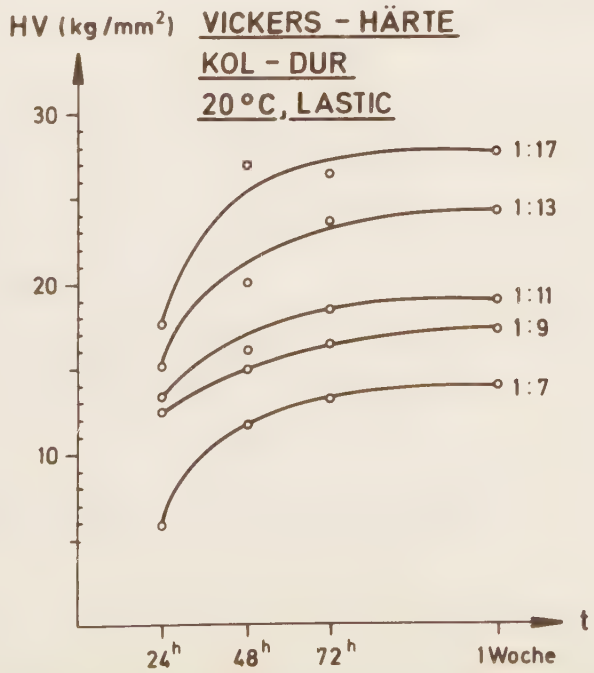
Tabelle 7b FOLIE 80 GRAD C

	1: 7	1: 9	1 11	1:13	1:17
	7.319	12.981	16.820	17.780	22.284
	0.079	0.347	0.557	0.638	0.537
1/2	0.025	0.110	0.176	0.199	0.170
	7.254	12 732	16.422	17.330	21.900
	7.367	13.229	17.218	18.231	22.668
	8.625	14.556	18.862	22.053	25.350
	0.132	0.532	0.656	0.938	1.183
1	0.042	0.168	0.207	0.297	0.374
	8.531	14.176	18.393	21.382	24.504
	8.720	14.937	19.331	22.725	26.196
	9.677	15.392	20.438	22 681	29.920
	0.238	0.581	1.202	0 925	0.901
/	0.075	0.184	0.380	0 292	0.285
	9.507	14.976	19.578	22.020	29.276
	9.847	15.898	21.297	23.342	30.565
	10.373	16.721	22.767	24 566	28.481
	0.280	0.778	0.978	1 966	2.134
4	0.089	0.224	0.309	0.622	0.675
	10.172	16.214	22.068	23.159	26.955
	10.573	17.227	23.466	25.973	30.807

Zur Verdeutlichung der Härteveränderungen von Kol-Dur unter den verschiedenen Versuchsbedingungen fertigten wir einige graphische Darstellungen an. In den Diagrammen 1-6 sind auf der Abszisse die Stunden angegeben, nach denen die Bestimmung der Vickers-Härte erfolgte, auf der Ordinate die Vickers-Härtegrade HV. Die Diagramme 1 - 5 bestehen jeweils aus fünf Kurven, die den fünf verschiedenen Flüssigkeits-Pulver-Verhältnissen entsprechen. Die Diagramme 6a und b zeigen vier Kurven analog den vier Aushärtungstemperaturen im Memmertschrank. Jeder Kurve liegen vier Kurvenpunkte zugrunde. Die entsprechenden Härtewerte sind die in den Tabellen 3 - 7 angeführten Mittelwerte.

Diagramm 1a und b

Die Vickers-Härte von Kol-Dur bei verschiedenen Mischungsverhältnissen in Abhängigkeit von der Aushärtungszeit. Aushärtungstemperatur: 20° C



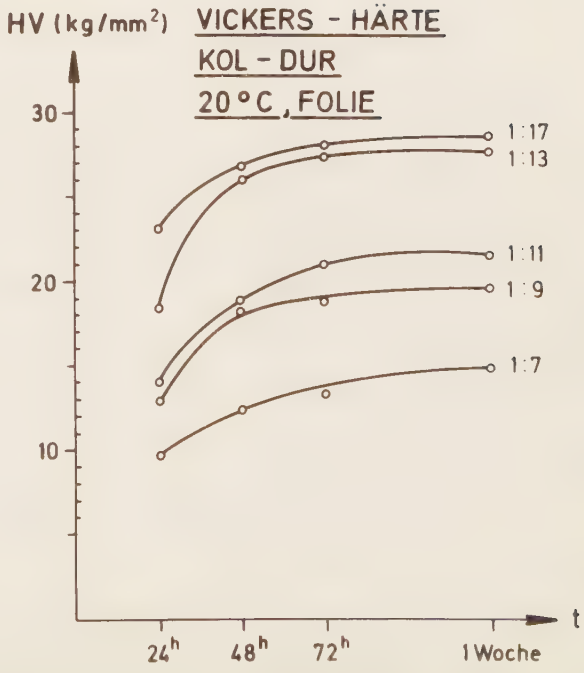
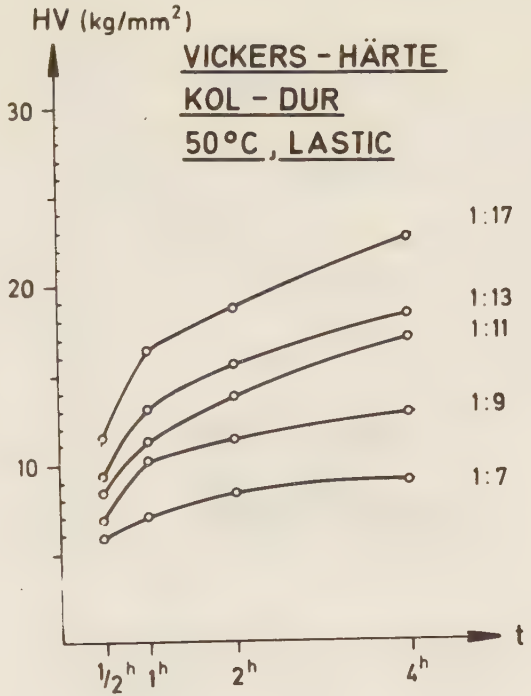


Diagramme 2a und b

Die Vickers-Härte von Kol-Dur bei verschiedenen Mischungsverhältnissen in Abhängigkeit von der Aushärtungszeit. Aushärtungstemperatur: 50° C



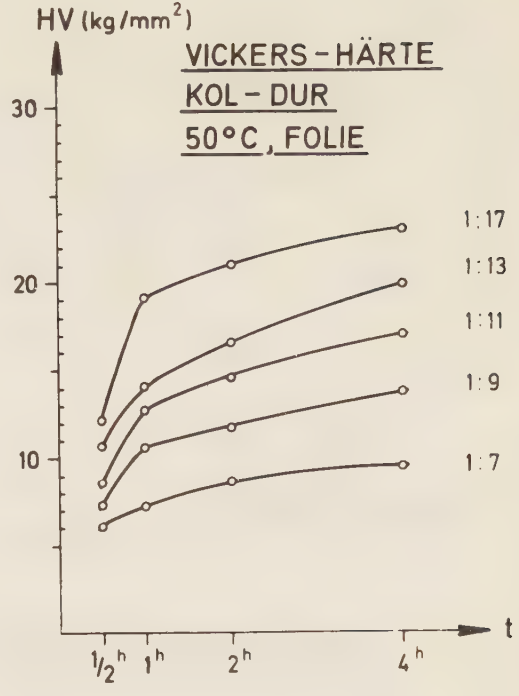
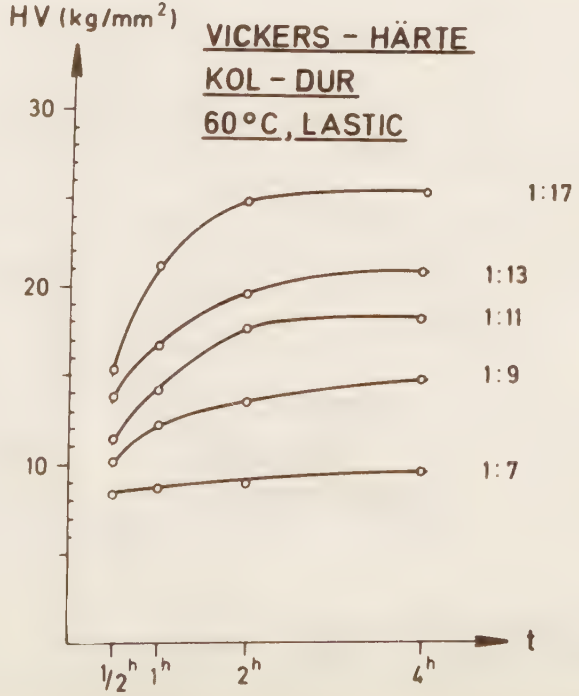


Diagramme 3a und b

Die Vickers-Härte von Kol-Dur bei verschiedenen Mischungsverhältnissen in Abhängigkeit von der Aushärtungszeit. Aushärtungstemperatur: 60° C



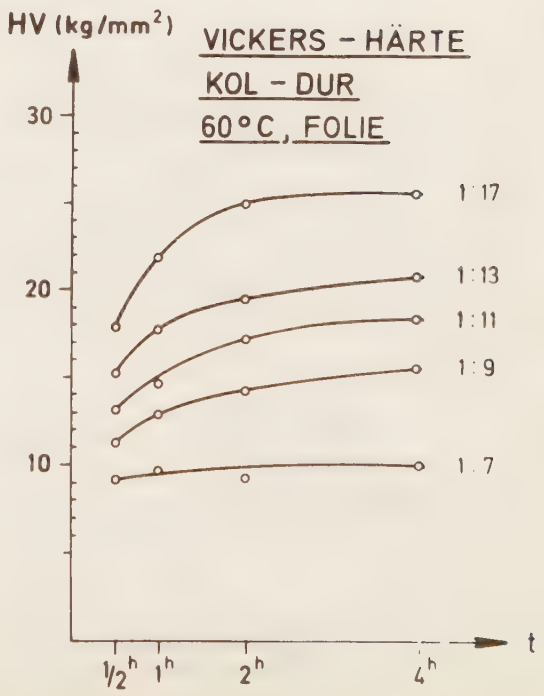
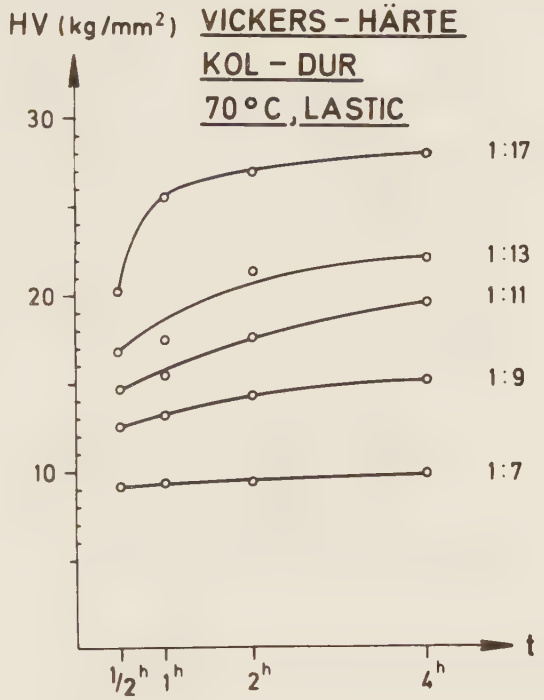


Diagramme 4a und b

Die Vickers-Härte von Kol-Dur bei verschiedenen Mischungsverhältnissen in Abhängigkeit von der Aushärtungszeit. Aushärtungstemperatur: 70° C



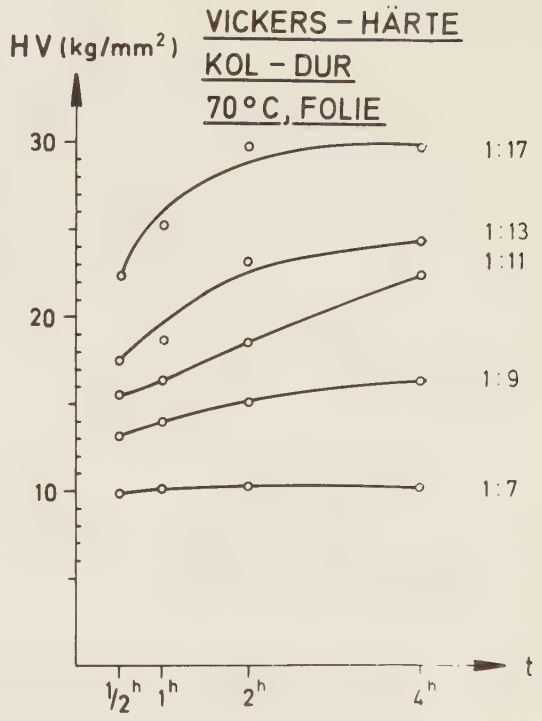
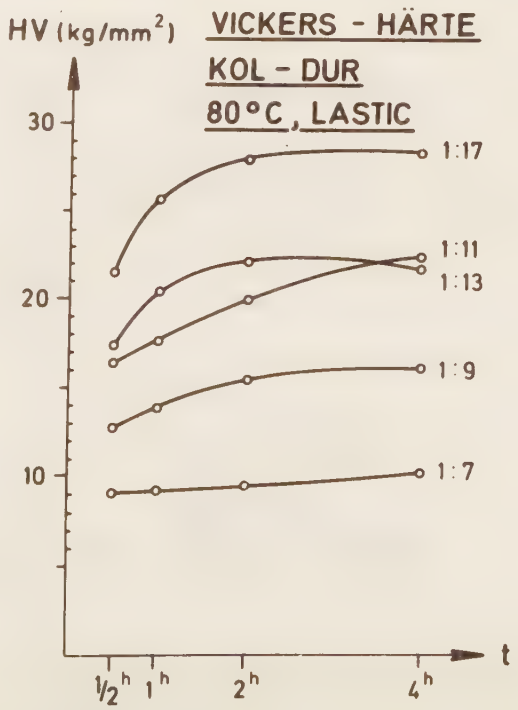


Diagramme 5a und b

Die Vickers-Härte von Kol-Dur bei verschiedenen Mischungsverhältnissen in Abhängigkeit von der Aushärtungszeit. Aushärtungstemperatur: 80° C



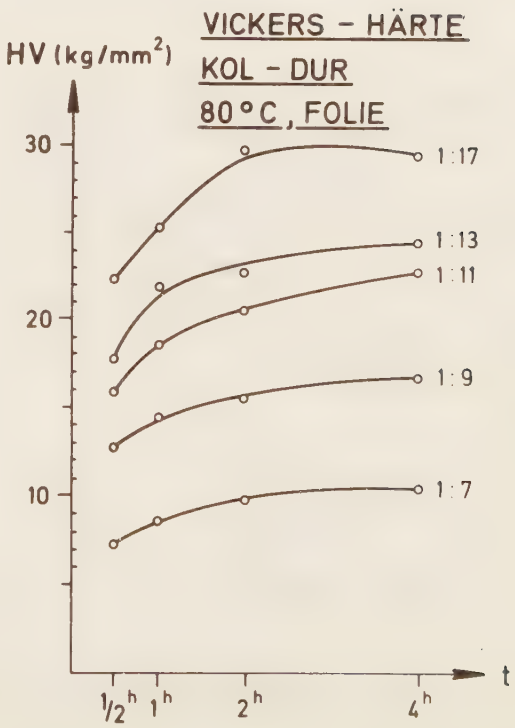
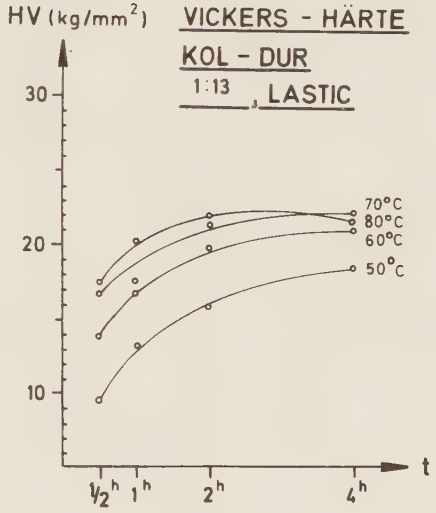
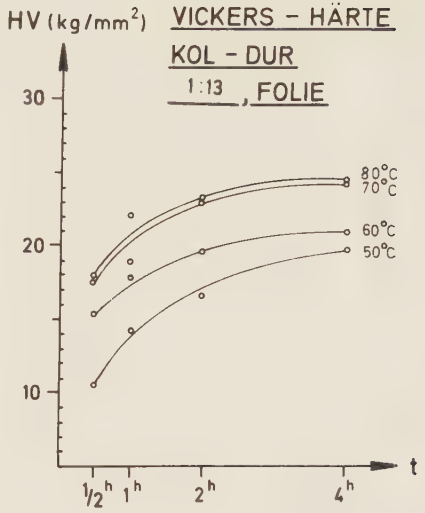


Diagramme 6a und b

Die Vickers-Härte von Kol-Dur bei verschiedenen Aushärtungstemperaturen in Abhängigkeit von der Aushärtungszeit.
Mischungsverhältnis Härterlösung : Pulver = 1 : 13





aa. Die Härte von Kol-Dur in Abhängigkeit vom Anrührverhältnis Flüssigkeit zu Pulver

Unter allen von uns geschaffenen Versuchsbedingungen besteht bei Kol-Dur eine Abhängigkeit der Vickers-Härte von dem Flüssigkeits-Pulver-Verhältnis. Wie die Diagramme 1-5 veranschaulichen, nimmt mit steigendem Pulveranteil die Vickers-Härte von Kol-Dur zu, ganz unabhängig von der angewandten Abbindeunterlage, der Zeitdauer oder dem Temperaturgrad des Wärmestoßes.

Aus den entsprechenden Tabellen 3-7 geht hervor, daß die Härteunterschiede zwischen den Kol-Dur-Proben der verschiedenen Flüssigkeits-Pulver-Verhältnisse nicht zufällig bestehen. Wir können die Unterschiede mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit als signifikant bezeichnen, da die Vertrauensbereiche der einzelnen Mittelwerte sich weder überschneiden noch berühren.

In bezug auf die Vickers-Härte sind also die Kol-Dur-Proben am günstigsten zu beurteilen, die in einem Mischungsverhältnis Flüssigkeit:Pulver = 1:17 angerührt wurden. Bei einem Mischungsverhältnis von 1:7 hat Kol-Dur die geringste Härte.

bb. Einfluß der Temperatur auf die Härte

Um den Einfluß der Temperaturhöhe, unter dem die Kol-Dur-Proben aushärteten, zu erfassen, wurden die Diagramme 1-5 einander gegenübergestellt.

Wir verglichen diejenigen Kurvenpunkte miteinander, die Kol-Dur-Proben von gleichem Mischungsverhältnis und gleicher Wärmestoßdauer betrafen und die sich nur durch den Temperaturgrad des Wärmestoßes unterschieden. Als Beispiel wurde Diagramm 6 angefertigt. Wir konnten feststellen, daß die Kol-Dur-Proben, die bei einer Temperatur von 60 Grad C ausgehärtet waren, ohne Ausnahme eine größere Vickers-Härte besaßen als die entsprechenden bei 50 Grad C gehärteten Proben (vergl. Diagr. 2 u.3). Die Härteunterschiede können auch hier mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% als signifikant bezeichnet werden, da sich die Vertrauensbereiche der einzelnen Härte-Durchschnittswerte nicht überschneiden (vergl. Tab. 4 u. 5).

Die Steigerung der Aushärtetemperatur von 60 Grad C auf 70 Grad C verursachte ausnahmslos ein weiteres Ansteigen der

Vickers-Härte bei den einander entsprechenden Kol-Dur-Proben.

Wie aus den Tabellen 5 und 6 zu ersehen ist, sind die Härteunterschiede zwischen Kol-Dur-Proben, die bei 60 Grad C und bei 70 Grad C aushärteten, bis auf vier Ausnahmen als signifikant zu interpretieren.

Eine Aushärtetemperatur von 80 Grad C vermochte die Vickers-Härte von Kol-Dur gegenüber einem Wärmestoß von 70 Grad C nicht mehr wesentlich zu steigern. Teilweise konnten wir sogar eine Minderung der Härte (HV) durch den Temperatureinfluß von 80 Grad C beobachten (vergl. Diagr. 4 u. 5). Überprüfen wir an Hand der in den Tabellen 6 und 7 aufgeführten Vertrauensgrenzen die Signifikanz der zwischen den Durchschnittshärtewerten $\overline{HV}_{70^\circ C}$ und $\overline{HV}_{80^\circ C}$ bestehenden Differenzen, so müssen wir feststellen, daß ungefähr die Hälfte der Härteunterschiede zufällig besteht. Das heißt, von 40 bestehenden Differenzen sind nur 19 als signifikant zu bezeichnen.

Ein Härtevergleich zwischen Kol-Dur-Proben, die wir bei 20 Grad C aushärten ließen, mit den zuvor beschriebenen war nur indirekt möglich, da hier mit der Bestimmung der Vickers-Härte erst nach 24stündiger Aushärtezeit begonnen werden konnte.

Die bei 20 Grad C gehärteten Proben sind noch nach 4 Stunden, dem letzten Zeitpunkt der Härtebestimmung an Proben, die einem Wärmestoß ausgesetzt waren, völlig weich.

Wir können jedoch aussagen, daß Kol-Dur-Proben, die 24 Stunden bei 20 Grad C aushärteten, ungefähr Proben entsprechen, die für eine Zeitdauer von einer Stunde einem Wärmestoß von 70 Grad C ausgesetzt waren.

Diese Tatsache verweist auf einen dritten Faktor, der neben dem Mischungsverhältnis und der Temperatureinwirkung entscheidend die Härte von Kol-Dur beeinflußt, nämlich die Zeitdauer des Aushärteprozesses.

cc. Zunahme der Vickershärte in der Zeit

An Kol-Dur-Proben, die bei 20 Grad C aushärteten, führten wir Vickershärtebestimmungen nach 24, 48, 72 und 168 Stunden durch. Bis zu 72 Stunden (3 Tagen) kann eine deutliche Steigerung der Härte beobachtet werden. Nach weiteren vier Tagen (168 Stunden insgesamt) sind die Proben nur noch geringfügig

härter geworden. Die Kurven werden in diesem Bereich flacher (Diagr. 1). In drei Fällen sind hier die Differenzen zwischen den Durchschnittshärtewerten nicht signifikant (Tab. 3).

Die Zeitspanne, in der die mit einem Wärmestoß behandelten Kol-Dur-Proben den verschiedenen Temperaturen ausgesetzt waren, betrug jeweils 1/2, 1, 2 und 4 Stunden. Die Kurven der Diagramme 2-5 zeigen im wesentlichen einen relativ steilen Anstieg der Härte bis zu einer Zeitdauer der Temperatureinwirkung von 2 Stunden. Nach diesem Zeitpunkt, bis zu 4 Stunden, werden die Kurven größtenteils flacher. Das bedeutet, daß die Kol-Dur-Proben nach 2 Stunden schon fast die optimale Härte erreicht haben, die dem jeweiligen Mischungsverhältnis und der angewandten Temperatur entspricht.

Eine Ausnahme bilden die Kurven des Diagramms 2a. Hier sind die Kurven der Proben dargestellt, die bei 50 Grad C auf Lastic ausgehärtet sind. Sie steigen gleichmäßig, fast linear bis zu 4 Stunden an.

Auch die Kurven der Kol-Dur-Proben des Mischungsverhältnisses 1:7 bilden Ausnahmen. Sie verlaufen ganz flach, teilweise sogar kaum ansteigend, so daß bei diesem Mischungsverhältnis die Endhärte schon fast nach einer Aushärtezeit von 1/2 Stunde erreicht scheint. Die Endhärte ist hier, dem Mischungsverhältnis 1:7 entsprechend, natürlich gering.

Die Härteunterschiede, die sich zwischen den Kol-Dur-Proben dieses Mischungsverhältnisses bei verschieden langer Aushärtezeit andeuten, sind - bis auf die bei 50 Grad C gehärteten Proben - fast durchweg nicht signifikant. Während die bei den übrigen Mischungsverhältnissen (1:9, 1:11, 1:13, 1:17) durch verschieden lange Wärmeeinwirkung auftretenden Härtedifferenzen - bis auf ganz wenige Ausnahmen - signifikant sind.

dd. Einfluß der Abbindeunterlage auf die Härte

Bei der Untersuchung der Oberflächengestalt von Kol-Dur stellten wir eine Beeinflussung der Oberfläche durch den Kontakt mit Lastic 55 fest. Die Oberfläche von Kol-Dur war durch Aushärten auf Lastic 55 geringfügig rauher geworden. Daher interessierte es uns, ob auch die Vickers-Härte von Kol-Dur durch Aushärten auf Lastic 55 beeinflußt wird.

Aus den Tabellen 3-7 ergibt sich folgendes Bild:

Von 100 Kol-Dur-Proben, die auf Lastic ausgehärtet sind, unterscheiden sich 90 Proben durch geringere Durchschnitts=härte-Werte von den jeweils entsprechenden Proben, die auf Fo=lie aushärteten. In 10 Fällen waren die Kol-Dur-Proben härter, die Kontakt mit Lastic 55 hatten.

Von den 90 Härtedifferenzen, die sich zugunsten der auf Folie ausgehärteten Proben ergaben, sind durch Überprüfen der Vertrauensgrenzen 71 als signifikant zu interpretieren.

Wir können demnach mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit aussa=gen, daß die Vickers-Härte von Kol-Dur zu 71% negativ durch Kon=takt mit Lastic 55 beeinflußt wird. Die Größe der Härtedifferen=zen beträgt jedoch nur wenige Härtegrade und kann im einzelnen den Tabellen entnommen werden.

ee. Die Vickers-Härte von Palavit M, Vel-Mix-Stone, Duroc, Divestment und DC-Bayer

In Diagr. 7 wurden die Vickers-Härtegrade der Modellwerk=stoffe Palavit M, Vel-Mix-Stone, Duroc, Divestment und DC-Bayer im Vergleich mit Kol-Dur graphisch dargestellt. Die mit F be=zeichneten Säulen veranschaulichen die Härtegrade der auf Folie ausgehärteten Werkstoffproben. Mit L wurden die Säulen der ent=sprechenden auf Lastic 55 gehärteten Proben bezeichnet. Die Härte von Palavit M haben wir nur in Abhängigkeit von Folie ge=prüft, da sich die Oberfläche von Palavit M durch den Kontakt mit Lastic 55 so veränderte, daß die Ausmessung der Eindrücke des Vickers-Diamanten sehr ungenau wurde.

Erstaunlicherweise konnten wir eine Rangordnung der ver=schiedenen Werkstoffe bezüglich der Vickers-Härte beobachten, die, mit Ausnahme von Palavit M und Kol-Dur (1:13, 20° C), der=jenigen Rangordnung gleichkommt, die sich bei der Betrachtung der Oberflächenprofile herausgestellt hatte. Das heißt, dieje=nigen Werkstoffe, die die glattere Oberfläche besaßen, zeigten auch eine größere Vickers-Härte.

Palavit M und Kol-Dur (1:13, 20° C) jedoch, die bei den Untersuchungen der Oberflächenprofile die glattesten Oberflä=chen zeigten, rangieren, die Vickers-Härte betreffend, an zweit- und drittletzter Stelle.

Diagramm 7

Die Vickers-Härte von Kol-Dur im Vergleich mit Vel-Mix-Stone, Duroc, Divestment, Palavit M und DC-Bayer in Abhängigkeit von Kunststoffolie (F) und Lastic 55 (L)

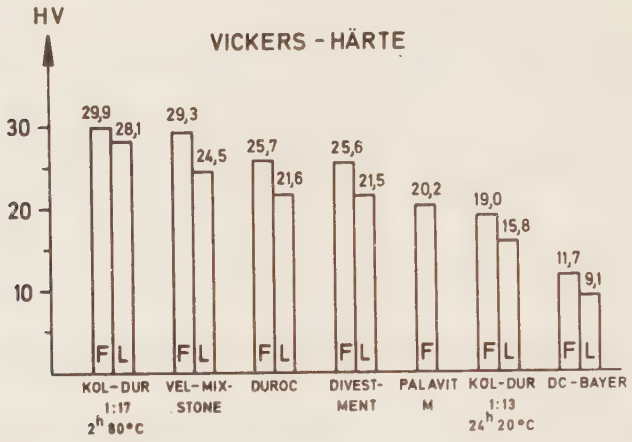


Diagramm 7 veranschaulicht außerdem, daß neben Kol-Dur auch die übrigen untersuchten Modellwerkstoffe negativ durch den Kontakt mit Lastic 55 beeinflußt werden.

Die Differenz der Durchschnittshärte-Werte, die einmal zwischen Kol-Dur (1:17, 80° C) und Vel-Mix-Stone und zum anderen zwischen Duroc und Divestment bestehen, sind nur sehr gering. Bei Überprüfung der Vertrauensgrenzen dieser Durchschnittswerte ergab sich, daß die Härtedifferenzen zwischen Kol-Dur (1:17, 80° C) und Vel-Mix-Stone sowie zwischen Duroc und Divestment nicht signifikant sind (s. Tab. 7 u. 8).

Tabelle 8

Zusammenstellung der Vickers-Härte-Werte für Palavit M, Vel-Mix-Stone, Duroc, Divestment und DC-Bayer nach einer Aushärtungszeit von 24 Stunden

a. In Abhängigkeit von Lastic 55

Vel-Mix-Stone	Duroc	Divestment	DC-Bayer	
24.504	21.671	21.528	9.185	$\bar{x}$
1.721	1.027	0.585	0.312	s
0.544	0.325	0.185	0.099	$s_{\bar{x}}$
23.273	20.936	21.110	8.962	U.V.G.
25.735	22.406	21.947	9.408	O.V.G.

b. In Abhängigkeit von Kunststoffolie

Vel-Mix-Stone	Duroc	Divestment	DC-Bayer	Palavit M	
29.395	25.781	25.643	11.732	20.202	$\bar{x}$
1.407	1.870	0.611	0.338	1.023	s
0.445	0.591	0.193	0.107	0.323	$s_{\bar{x}}$
28.389	24.444	25.206	11.490	19.470	U.V.G.
30.402	27.119	26.079	11.974	20.933	O.V.G.

$\bar{x}$ = Mittelwert aus 10 Einzelmessungen

s = Standardabweichung

$s_{\bar{x}}$ = Mittlerer Fehler des Mittelwertes

U.V.G. = Untere Vertrauensgrenze

O.V.G. = Obere Vertrauensgrenze

3. Bestimmung der Ritzhärte

Bei der Ritzhärteprüfung wird der Prüfkörper mit einem Diamanten (Öffnungswinkel 90°) geritzt. Nach MARTENS gelten zwei Definitionen der Ritzhärte. Einmal wird als Ritzhärte die Prüfkraft in p bezeichnet, die eine Strichbreite von 10 µ bewirkt. Zum anderen gilt als Ritzhärte der reziproke Wert der in µ gemessenen Strichbreite unter einer bestimmten Belastung. Das letztere Verfahren ist einfacher zu handhaben. Nach WEIKART kommt es für zahnärztliche Werkstoffe fast ausschließlich zur Anwendung. Bei unseren Untersuchungen gingen wir daher ebenfalls nach dieser Methode vor.

Als Ritzhärte wird also bei den nachfolgenden Untersuchungsergebnissen der reziproke Wert der Strichbreite bezeichnet, den wir der besseren Darstellung wegen mit dem Faktor 4000 multiplizierten.

a. Untersuchungsmethode

Die Bestimmung der Ritzhärte führten wir mit dem Kleinhärteprüfer "Durimet" der Firma LEITZ, Wetzlar, durch. Hierzu vertauschten wir den Vickers-Diamanten gegen den kegelförmigen Ritzdiamanten, der einen Öffnungswinkel von 90° besaß.

Zum Ritzen wurden die Proben, die wir mit Hilfe von Stentsmasse mit der Meßtischplatte parallelisiert hatten, auf dem Meßtisch festgelegt. Nach einer Senkzeit des Ritzdiamanten von 15 Sekunden erfolgte das Ritzen durch langsames Linksdrehen der Tischmikrometerschraube. Als Ritzgeschwindigkeit versuchten wir für eine Umdrehung der Mikrometerschraube etwa 10 Sekunden einzuhalten. Die Prüflast betrug bei unseren Versuchen 10 p.

Das Ritzen durch Drehen der Mikrometerschraube mit der Hand läßt einen Faktor der Ungenauigkeit in das Ritzverfahren eingehen. Es ist sehr schwierig, die Meßtischplatte mit dem Prüfkörper auf diese Weise völlig gleichmäßig zu bewegen. Bei relativ harten Prüfkörpern wie Metallen mögen diese Schwankungen in der Ritzgeschwindigkeit unbedeutend sein. Bei den von uns untersuchten, relativ weichen Modellwerkstoffen, deren

Oberfläche obendrein von einem ungleichmäßigen Kristallgefüge geprägt ist, spielt dieser Faktor jedoch eine Rolle. Wie die Abbildung einer Ritzung der Oberfläche von Kol-Dur zeigt (Abb. 9), erhielten wir eine ungleichmäßige Begrenzung des Ritzes, die ein genaues Ausmessen der Ritzbreite außerordentlich erschwerte.

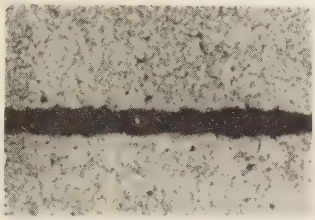


Abb. 9
Ritzung der Oberfläche von Kol-Dur (ca. 50fach vergr.)

Wir waren bestrebt, die Ritzbreite immer dort auszumessen, wo die Ritzbegrenzungen parallel zueinander verliefen. Um zu einigermaßen eindeutigen Meßergebnissen zu kommen, führten wir daher 10 bis 15 Ritzungen je Probe durch, die an verschiedenen Stellen ausgemessen wurden.

Außerdem ist noch zu beachten, daß die Messungen an Materialproben, die miteinander verglichen werden sollen, möglichst von einer Person ausgeführt werden. Denn sowohl das Drehen der Mikrometerschraube als auch das Ausmessen der Ritzbreite kann sehr verschieden gehandhabt werden.

Die Kol-Dur-Proben stellten wir zur Ritzhärtebestimmung in den gleichen Mischungsverhältnissen (1:7, 1:9, 1:11, 1:13, 1:17) her wie bei der Vickers-Härtebestimmung. Die Aushärtungstemperaturen von 20°C, 50°C, 60°C, 70°C und 80°C entsprachen ebenfalls den Temperaturen bei der Vickers-Härtebestimmung. In bezug auf die Abbindeunterlage und die Aushärtungszeit vereinfachten wir diese Versuchsserie gegenüber der Vickers-Härtebestimmung. Als Abbindeunterlage benutzten wir nur Kunststoffolie. Als Aushärtungszeiten wählten wir bei einer Temperatur von 20°C 24 Stunden und bei Wärmestößen im Memmertschrank 1/2 Stunde und 4 Stunden, die beiden extremen Zeitpunkte der Vickers-Härtebstimmung. Auf die dazwischenliegenden Zeitpunkte von einer und zwei Stunden sowie auf Lastic 55 als Abbindeunterlage verzichteten wir bei der Ritzhärtebestimmung.

Zum Vergleich mit Kol-Dur wurden auch bei der Ritzhärtebestimmung die Werkstoffe Palavit M, Vel-Mix-Stone, Duroc, Divestment und DC-Bayer mitgeprüft. Die Proben dieser Materialien stellten wir wiederum nach Vorschrift der Hersteller her und ließen sie vor der Härtebestimmung 24 Stunden bei Zimmertemperatur aushärten.

b. Untersuchungsergebnisse

Tabellen 9-14, Diagramm 8

In den Tabellen sind die Ergebnisse der Ritzhärteprüfung bei verschiedenen Versuchsbedingungen zusammengestellt.

Die Tabellen 9 bis 13 sind horizontal nach den Kol-Dur-Mischungsverhältnissen mit steigendem Pulveranteil (in Gramm), vertikal nach den Aushärtungszeiten (in Stunden) geordnet.

N bedeutet die Anzahl der Einzelmessungen.

Angegeben sind jedesmal (Tab. 9-14) - von oben nach unten - das arithmetische Mittel aus 10 bzw. 15 Einzelmessungen, die Standardabweichung, der mittlere Fehler des Mittelwertes, die untere und die obere Vertrauensgrenze (vergl. S. 25).

Tabelle 9

Die Ritzhärte von Kol-Dur bei einer Aushärtungstemperatur von 20 Grad C

	1:7	1:9	1:11	1:13	1:17
N	15	15	15	15	15
	27.885	31.412	32.287	33.594	36.444
	1.775	2.796	1.013	1.723	1.775
24	0.458	0.722	0.261	0.445	0.458
	28.921	33.045	32.878	34.680	37.481
	26.848	29.779	31.695	32.588	35.407

Tabelle 10

Die Ritzhärte von Kol-Dur bei einer Aushärtungstemperatur von 50 Grad C

	1: 7	1: 9	1:11	1:13	1:17
N	15	15	10	10	15
	17,579	18,666	20,748	22,635	24,769
	1,008	1,364	0,815	1,268	1,692
1,2	0,261	0,352	0,258	0,401	0,437
	18,167	19,465	21,331	23,542	25,758
	16,990	17,872	20,166	21,728	23,781
N	15	15	15	15	15
	22,675	26,023	29,393	29,676	32,955
	1,309	2,776	1,488	1,999	2,882
4	0,338	0,717	0,384	0,516	0,744
	23,440	27,644	30,262	30,843	34,639
	21,911	24,402	28,524	28,508	31,272

Tabelle 11

Die Ritzhärte von Kol-Dur bei einer Aushärtungstemperatur von 60 Grad C

	1: 7	1: 9	1:11	1:13	1:17
N	10	10	15	15	10
	17,794	19,860	21,122	23,879	25,091
	1,602	0,393	1,379	1,187	1,223
1,2	0,507	0,124	0,356	0,307	0,387
	18,940	20,141	21,927	24,573	25,966
	16,648	19,578	20,317	23,186	24,217
N	15	15	15	15	15
	22,640	24,896	31,188	38,392	43,739
	1,242	0,933	1,821	1,249	1,634
4	0,321	0,241	0,470	0,322	0,422
	23,365	25,441	32,251	39,121	44,693
	21,914	24,351	30,124	37,662	42,785

Tabelle 12

Die Ritzhärte von Kol-Dur bei einer Aushärtungstemperatur von 70 Grad C

	1: 7	1: 9	1:11	1:13	1:17
	15	15	15	15	15
	25,518	26.563	29.379	31.792	33.138
	1.826	0.978	1.509	1.889	2.476
1/2	0.471	0.253	0.390	0.488	0.639
	26,585	27.129	30.260	32.806	34.583
	24,452	25.996	28.498	30.599	31.692
N	10	10	10	10	10
	25,993	30.767	35.893	41.690	46.926
	0.994	0.765	1.232	0.543	1.056
4	0.314	0.242	0.390	0.172	0.334
	26,784	31.315	36.775	42.879	47.682
	25,283	30.220	35.011	41.302	46.171

Tabelle 13

Die Ritzhärte von Kol-Dur bei einer Aushärtungstemperatur von 80 Grad C

	1: 7	1: 9	1:11	1:13	1:17
N	15	15	15	15	15
	25,273	27.798	29.879	32.254	34.125
	1,006	1.010	1.565	0.986	1.695
1/2	0,263	0.261	0.404	0.234	0.438
	25,863	28.388	30.793	32.783	35.115
	24,685	27.208	28.965	31.725	33.136
N	10	10	10	10	10
	28,132	32.574	35.810	48.562	54.381
	0.768	0.648	0.891	2.677	3.934
4	0.248	0.205	0.282	0.846	1.244
	28,675	33.038	36.448	50.476	57.195
	27,589	32.111	35.173	46.647	51.567

Tabelle 14

Zusammenstellung der Ritzhärte-Werte für Palavit M, Vel-Mix-Stone, Duroc, Divestment und DC-Bayer nach einer Aushärtungszeit von 24 Stunden

Palavit M	Vel-Mix-Stone	Duroc	Divestment	DC-Bayer
49.276	20.602	18.445	16.236	10.654
0.886	2.041	0.968	0.673	0.324
0.229	0.527	0.250	0.174	0.084
48.758	19.410	17.879	15.843	10.464
49.794	21.794	19.010	16.629	10.843

Anzahl der Messungen jeweils 15

Ebenso wie bei der Vickers-Härte ist eine Steigerung der Ritzhärte durch Erhöhung der Aushärtungstemperatur, durch Verlängerung der Aushärtungszeit sowie bei Vermehrung des Pulveranteils zu beobachten.

Betrachten wir die mittleren Ritzhärtewerte in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis sowie die entsprechenden Vertrauensgrenzen, so können wir feststellen, daß bei 36 verglichenen Wertepaaren in 34 Fällen die Ritzhärte von Kol-Dur mit steigendem Pulveranteil signifikant größer geworden ist.

Bei Veränderung der Aushärtungstemperatur ergibt sich folgendes Bild: Erhöhen wir die Temperatur von 50°C auf 60°C (Tab. 10 und 11), so ist in 5 von 10 Fällen die Ritzhärte signifikant angestiegen. Durch weiteres Erhöhen der Temperatur von 60°C auf 70°C (Tab. 11 und 12) ist bei allen 10 verglichenen Wertepaaren die Ritzhärte gesteigert worden. Die Differenzen der Mittelwerte sind hier in jedem Falle signifikant. Auch bei einer weiteren Steigerung der Temperatur von 70°C auf 80°C (Tab. 12 und 13) konnten wir in 5 von 10 Fällen einen signifikanten Anstieg der Ritzhärte beobachten.

Die Abhängigkeit der Ritzhärte von der Aushärtungszeit drückt sich für Kol-Dur in folgendem Zahlenverhältnis aus: Bei 20 verglichenen Wertepaaren ist in 19 Fällen eine signifikante Steigerung der Ritzhärte zu verzeichnen, sobald die Aushärtungszeit von 1/2 Stunde auf 4 Stunden verlängert wird.

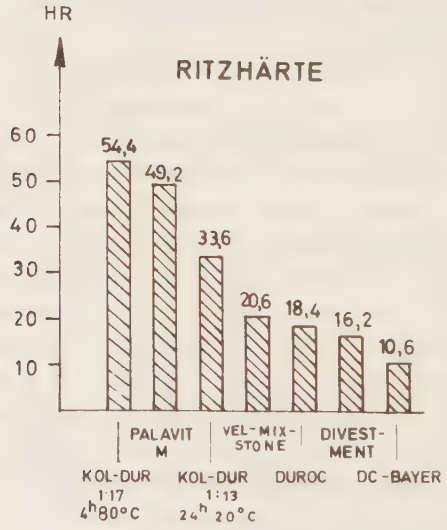
Die Höhe der Ritzhärtesteigerung bei den verschiedenen Versuchsbedingungen ist im einzelnen den Tabellen 9 bis 13 zu entnehmen.

Kol-Dur-Proben, die wir bei Zimmertemperatur (20°C) härten ließen, entsprechen in der Höhe ihrer Ritzhärtegrade annähernd den Proben, die für eine halbe Stunde einem Wärmestoß von 80°C ausgesetzt waren.

In Tabelle 14 sind die mittleren Ritzhärtewerte und die statistischen Werte (vergl. S. 25) für die Materialien Palavit M, Vel-Mix-Stone, Duroc, Divestment und DC-Bayer zusammengestellt. Die zwischen den einzelnen Modellwerkstoffen bestehenden Härtedifferenzen sind signifikant.

Diagramm 8

Zusammenstellung der mittleren Ritzhärtewerte von Palavit M, Vel-Mix-Stone, Duroc, Divestment und DC-Bayer im Vergleich mit Kol-Dur



In Diagramm 8 haben wir die Modellwerkstoffe dem Ritzhärtegrad nach geordnet. Es zeigt sich hier fast die gleiche Rangordnung der Materialien wie bei der Vickers-Härte (s. Diagr. 7), lediglich die Ritzhärte von Palavit M und Kol-Dur (1:13, 20°C) verhält sich anders. Beide Materialien schneiden

bei der Ritzhärtebestimmung am günstigsten ab, während sie bei der Vickers-Härtebestimmung an zweit- und drittletzter Stelle stehen.

Schon bei der Vickers-Härtebestimmung hatten wir auf den Zusammenhang von Härte und Oberflächengestalt hingewiesen. Die Modellmaterialien standen - mit Ausnahme von Palavit M und Kol-Dur (1:13, 20°C) - bei der Vickers-Härtebestimmung und bei den Messungen der Oberflächengestalt in der gleichen Rangordnung (s. S. 19).

Vergleichen wir die Reihenfolge der Modellwerkstoffe, die sich bei der Ritzhärtebestimmung ergeben hat, mit den Ergebnissen der Oberflächenprüfung (s. Abb. 6), so finden wir ohne Ausnahme eine Übereinstimmung der beiden Rangordnungen.

III. Das Dimensionsverhalten von Kol-Dur in Abhängigkeit von Lastic 55

a. Untersuchungsmethode

Zur Untersuchung des Dimensionsverhaltens von Kol-Dur führten wir mikroskopische Vermessungen von Kol-Dur-Arbeitsmodellen durch, die von einem Phantomkörper aus Chrom-Nickel-Stahl gewonnen wurden. Das Phantommodell stellt auf der einen Seite den schematisierten Stumpf einer Jackett-Kronen-Präparation dar mit einer Neigung der Wand um 4 Grad und einer Stufe mit einem Winkel von ungefähr 85 Grad (s. Abb. 10). Die andere Seite wurde einer stilisierten Inlaypräparation entsprechend gestaltet. Die Stufe war hier um 90 Grad abgewinkelt. An einer Längsseite des Modells war zusätzlich eine Aussparung in Form eines stilisierten Auslegers angebracht (s. Abb. 11). Diese Art der Gestaltung des Phantommodells sollte Aufschluß über das Dimensionsverhalten von Kol-Dur sowohl bei positiver als auch bei negativer Form geben. Außerdem wollten wir eine eventuelle Verzerrung der Stufenwinkel erfassen.

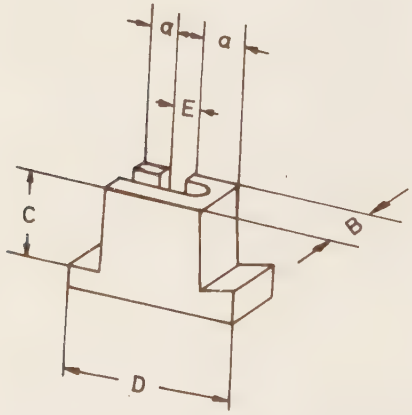


Abb. 10

Darstellung des Phantommodells in seiner Funktion als stilisierter Jackettkronenstumpf

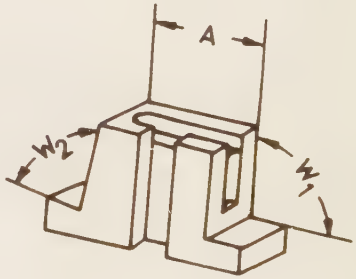


Abb. 11

Darstellung des Phantommodells in seiner Funktion als stilisierte Inlaypräparation

In Tabelle 15 sind die Maße des Versuchskörpers zusammengestellt. Mit A, B, C, D und E sind die Meßstrecken, mit W_1 und W_2 die Winkel der Stufen bezeichnet (s. Abb. 10 und 11). Jede Strecke und jeder Winkel wurde fünfmal vermessen.

Tabelle 15
Maße des Phantomkörpers in µ

Meßstrecke	A	B	C	D	E
	9 436	7 992	7 988	16 029	3 058
	9 436	7 990	7 987	16 028	3 058
	9 437	7 990	7 984	16 031	3 058
	9 437	7 989	7 986	16 031	3 060
	9 438	7 990	7 986	16 030	3 056
Mittelwert	9 437	7 990	7 986	16 029	3 058

zu Tabelle 15
Maße der Winkel des Phantomkörpers in Grad und Minuten

Winkel	W_1	W_2
	89 Grad 55'	85 Grad 13'
	89 Grad 53'	85 Grad 5'
	89 Grad 51'	85 Grad 14'
	89 Grad 55'	85 Grad 5'
	89 Grad 55'	85 Grad 5'
Mittelwert	89 Grad 54'	85 Grad 8'

Zur Abdrucknahme ließen wir passend zu dem beschriebenen Phantomkörper fünf perforierte Messingkästchen anfertigen, deren Wände so stabil waren, daß mechanische Verformungen beim Abziehen des Abdruckes vermieden wurden. Die Wände der Kästchen hatten zu dem Phantomkörper ein Spiel von 4 mm. Um eine parallaxenfreie Einschubrichtung und damit stets eine konstante Schichtdicke des Abdruckmaterials zu gewährleisten, wurde auf der Grundplatte eine rechteckige Führungsschiene angebracht, die von dem Versuchskörper überall einen Abstand von 3 mm besaß.

Als Abdruckmasse benutzten wir Lastic 55, da Kol-Dur, wie wir schon im Anfang dieser Arbeit erwähnten, besonders auf Lastic 55 abgestimmt ist. Außerdem sind in der Literatur ver-

schiedene andere Modellwerkstoffe in Abhängigkeit von Lastic 55 untersucht worden, so daß gute Vergleichsmöglichkeiten bestehen.

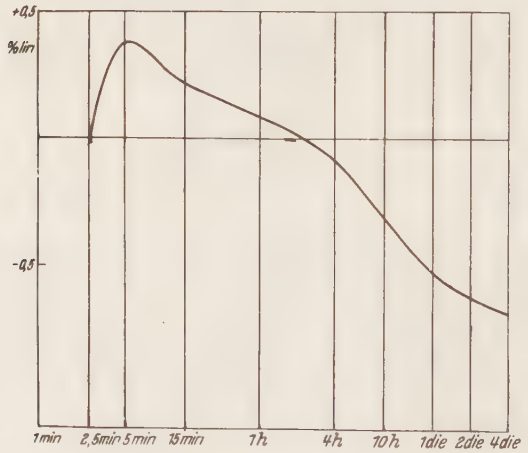
Voraussetzung für diese Untersuchungen war die Kenntnis des Dimensionsverhaltens von Lastic 55 selbst. Wir orientierten uns dabei an den ausführlichen Untersuchungen von ILG über das Dimensionsverhalten von Silicone-Abdruckmassen.

Nach ILG sind es hauptsächlich vier Faktoren, die das Dimensionsverhalten von Lastic 55 bestimmen:

1. Das Abdruckalter (s. Abb. 12)
2. Die Abdruckform (positiv oder negativ)
3. Die Höhe der Temperatur (während des Meßvorgangs)
4. Die Wandstärke der Abdruckmasse.

Abb. 12 nach ILG

Das Dimensionsverhalten von ungeformtem Lastic 55 in Abhängigkeit von der Zeit



Folgende Ergebnisse von ILG waren sowohl für die Wahl unserer Versuchsbedingungen als auch für die Auswertung der Ergebnisse von Bedeutung:

a. Lastic-55-Abdrücke mit einem Abdruckalter von einer Stunde zeigen bei einer Vollgußkronenpräparation (positiv) eine Verkleinerung der Abdruckhohlform, bei einer Inlaypräparation (negativ) eine Verkleinerung der Kavitätengröße.
b. Lastic-55-Abdrücke mit zunehmendem Abdruckalter zeigen bei einer Vollgußkronenpräparation zunehmende Vergrößerung der Abdruckhohlform und zunehmende Verzerrung der Urform. Bei einer Inlaypräparation bedingt zunehmendes Abdruckalter eine zunehmende Verkleinerung der Kavitätengröße.
c. Herabsetzen der Temperatur bedingt bei Lastic-55-Abdrücken von einer Vollgußkronenpräparation eine Vergrößerung der Abdruckhohlform (Kontr. d. Masse), bei Abdrücken von einer Inlaypräparation eine Verkleinerung der Kavitätenform.
d. Lastic-55-Abdrücke mit geringer Wandstärke besitzen eine bessere Formtreue gegenüber dem Original als Abdrücke mit einer großen Wandstärke der Abdruckmasse. Ungleichmäßige Abdruckmassen-Verteilung - bei sogenannten einseitig und zweiseitig exzentrischen Silicone-Abdrücken - hat einen Einfluß auf die Abdruckhohlform. Sie erfährt eine Verzerrung in Richtung zur stärkeren Schicht der Abdruckmasse.

Bei der Abdrucknahme verfuhren wir folgendermaßen:

Für einen Abdruck spachtelten wir zwei Teilstriche Lastic 55 mit 2 Tropfen gelbem und 2 Tropfen blauem Katalysator gründlich durch. Wir füllten ein perforiertes Kästchen mit der plastischen Masse und formten damit den Phantomkörper ab. Das Modell war zuvor hauchdünn mit Silikonöl isoliert worden, um das Entfernen des Abdruckes, das jeweils 5 Minuten nach Anrührbeginn erfolgte, zu erleichtern.

Auf diese Weise stellten wir jeweils fünf Lastic-55-Abdrücke von unserem Modell her, die wir nach 2 Stunden mit Kol-Dur ausgossen. Bei einem Abdruckalter von ungefähr 2 Stunden zeigt Lastic 55 nach ILG weder Expansion noch Kontraktion (s. Abb.12).

Kol-Dur wurde hinsichtlich seines Dimensionsverhaltens nur in den Flüssigkeits-Pulver-Mischungsverhältnissen 1:11 und 1:13

untersucht. Die Mischungsverhältnisse 1:7 und 1:9 genügten ihrer geringen Härte und ihrer rauhen Oberfläche wegen (s. Untersuchungsergebnisse in Kap. I, 2b) nicht den Anforderungen an ein gutes Modellmaterial und schieden daher aus.

Bei einem Mischungsverhältnis von 1:17 besitzt Kol-Dur zwar die größte Härte und die Oberfläche ist, wie wir feststellen konnten, relativ glatt, jedoch ist die Konsistenz der Masse zu fest, um einen Lastic-Abdruck damit auszugießen. Kol-Dur mit dem Mischungsverhältnis von 1:17 wäre nur zum Ausstopfen eines Abdruckes zu verwenden. Dazu ist Lastic 55 ungeeignet, denn das elastische Material würde sich unter dem Stopfdruck verformen. Die Kol-Dur-Masse mit den von uns untersuchten Mischungsverhältnissen 1:11 und 1:13 wurde mit Hilfe eines Rüttlers in die Lastic-Abdrücke eingebracht.

Die Aushärtetemperaturen im Memmertschrank variierten wir bei den Untersuchungen zum Dimensionsverhalten genauso wie bei den Härtebestimmungen von 20 Grad C bis 80 Grad C. Wir hielten bei einer Temperatur von 20 Grad C eine Aushärtezeit von 24 Stunden und bei den übrigen Temperaturen Zeiten von 1/2 und 4 Stunden ein. Auf die Untersuchung des Dimensionsverhaltens von Kol-Dur nach einer und zwei Stunden - Aushärtezeiten, die wir bei der Vickershärtebestimmung berücksichtigt hatten - verzichteten wir, da wir, der relativ großen Schwankungen bei den Einzelwerten wegen, von vorneherein keine ausgeprägten Volumendifferenzen durch Variieren der Aushärtezeit erwarteten.

Es wurden jeweils 10 Kol-Dur-Modelle vermessen, die wir unter den gleichen Bedingungen aushärten ließen.

Die mikroskopische Vermessung führten wir mit einem Werkstatt-Meßmikroskop WM I der Firma LEITZ, Wetzlar, durch.

Nach ILG eignet sich das optische Meßverfahren besonders für kleine und komplizierte Meßgegenstände, deren Dimensionsveränderungen relativ gering sind. Die Dimensionsveränderungen kleiner Meßkörper sind durch das mikroskopisch vergrößerte Bild genauer zu erfassen als durch mechanische Meßverfahren.

Zum Vermessen der Strecken benutzten wir einen einfachen Meßtubus, der für Längen- und Koordinatenmessungen verwandt wird. Das Okular war mit einer Strichplatte mit Strichkreuz versehen. Für die Winkelmessungen vertauschten wir das normale

Okular gegen ein Goniometer-Okular, das eine eingebaute, mit einem Rändelknopf drehbare Strichplatte besitzt. Die Platte trägt ein Strichkreuz mit zusätzlichem 60°-Winkel. Am Rande ist die Platte mit einer Winkelteilung versehen, die mit einem außen befindlichen, besonderen Mikroskop abgelesen wird.

Der Meßtisch zur Aufnahme der zu prüfenden Modelle ist kreuzweise mit 2 Mikrometerspindeln verstellbar. Die Mikrometerspindeln haben Millimetereinteilung mit Unterteilung auf einer größeren Meßtrommel. Der Skalenwert der Meßtrommel beträgt 5 µ. Die Meßunsicherheit der Meßspindeln wird von der Firma LEITZ mit ± 2 µ angegeben.

b. Untersuchungsergebnisse

Entsprechend den verschiedenen Versuchsbedingungen (Mischungsverhältnis, Aushärtungstemperatur, Aushärtungszeit) stellten wir die Tabellen 16 bis 33 zusammen. Sie enthalten neben den Einzelmessungen die Mittelwerte, die statistischen Werte (s. S. 25), die Abmessung des Originalkörpers, die Differenz zwischen Mittelwert und Meßwert des Originals sowie die Kontraktion bzw. Expansion in Prozent.

Die Tabellen stehen ihres Umfanges wegen am Schluß der Arbeit.

Eine Übersicht über das Dimensionsverhalten der einzelnen Meßstrecken und Winkel unter den verschiedenen Versuchsbedingungen geben die Tabellen 34 und 35. Sie sind ein Auszug der Tabellen 16 bis 33 und enthalten die Werte der Dimensionsveränderungen in Prozent.

aa. Das Dimensionsverhalten der Meßstrecken

Im ersten Überblick über die Tabellen läßt sich feststellen, daß die Meßstrecken A, B und D der Kol-Dur-Modelle sich im Vergleich zu den Original-Meßstrecken um 0,3 bis 1,2% linear verkleinert haben. Die Meßstrecken C und E dagegen haben sich dem Original gegenüber vergrößert, C um 0,5 bis 2% und E um 0,1 bis 0,4%. Eine Ausnahme bezüglich der Meßstrecke C bilden die Kol-Dur-Modelle, die bei 20°C ausgehärtet sind. Bei beiden von uns untersuchten Mischungsverhältnissen (1:11 und 1:13)

Tabelle 34

Dimensionsveränderungen an Kol-Dur-Modellen in Prozent unter verschiedenen Temperatureinflüssen

Mischungsverhältnis Härterlösung:Pulver = 1:11

24 Stunden

	A	B	C	D	E	W_1	W_2
20°C	-0,4	-0,4	-0,7	-1,2	+0,1	+0,3	+0,06

1/2 Stunde

	A	B	C	D	E	W_1	W_2
50°C	-0,5	-0,5	+0,7	-0,5	+0,3	+0,3	+0,5
60°C	-0,8	-0,7	+1,4	-0,5	+0,2	+0,3	+0,5
70°C	-0,7	-0,7	+1,5	-0,5	+0,3	+0,3	+0,2
80°C	-1,1	-0,9	+1,8	-0,6	+0,2	+0,6	+0,1

4 Stunden

	A	B	C	D	E	W_1	W_2
50°C	-0,5	-0,4	+0,7	-0,7	+0,3	+0,2	+0,3
60°C	-0,8	-0,9	+1,4	-0,7	+0,4	+0,3	+0,3
70°C	-0,8	-0,8	+1,6	-0,8	+0,2	+0,7	+0,5
80°C	-1,2	-1,1	+1,8	-0,8	+0,2	+0,7	+0,4

ist unter dem Einfluß dieser Aushärtungstemperatur die Meß=strecke C gegenüber dem Original um 0,5 bis 0,7% kleiner ge=worden.

An Hand der Vertrauensgrenzen, die den Tabellen 16 bis 33 zu entnehmen sind, können wir aussagen, daß die Differenzen zwischen den Mittelwerten der Original-Meßstrecken und denen der Kol-Dur-Modelle ohne Ausnahme mit 5% Irrtumswahrschein=lichkeit signifikant sind.

Außer den Größenunterschieden, die sich zwischen Phantom=körper und Kol-Dur-Modellen ergaben, wollten wir feststellen, ob sich zusätzlich Unterschiede zwischen Kol-Dur-Modellen zeigten, die unter verschiedenen Versuchsbedingungen herge=stellt wurden.

Besonders wichtig erschien uns der Temperatureinfluß, da von der Firma KETTENBACH, dem Hersteller von Kol-Dur, ein

Tabelle 35

Dimensionsveränderungen an Kol-Dur-Modellen in Prozent unter verschiedenen Temperatureinflüssen

Mischungsverhältnis Härterlösung:Pulver = 1:13

24 Stunden

	A	B	C	D	E	W_1	W_2
20°C	-0,3	-0,4	-0,5	-1,3	+0,3	+0,2	+0,02

1/2 Stunde

	A	B	C	D	E	W_1	W_2
50°C	-0,7	-0,7	+0,8	-0,6	+0,3	-0,07	+0,3
60°C	-0,9	-0,9	+1,3	-0,6	+0,2	+0,2	+0,2
70°C	-0,9	-1,0	+1,6	-0,5	+0,2	+0,3	-0,3
80°C	-1,1	-1,0	+1,9	-0,5	+0,2	+0,3	-0,1

4 Stunden

	A	B	C	D	E	W_1	W_2
50°C	-0,7	-0,8	+0,9	-0,8	+0,3	+0,1	-0,2
60°C	-1,1	-1,2	+1,2	-0,8	+0,3	+0,3	+0,1
70°C	-1,2	-1,2	+1,8	-0,8	+0,1	+0,7	+0,5
80°C	-1,2	-1,2	+2,0	-0,9	+0,3	+0,6	+0,3

Mit A,B,C,D und E sind die Meßstrecken und mit W_1 und W_2 die Stufenwinkel entsprechend Abb. 10 und 11 bezeichnet.

Wärmestoß bis zu 80° C während des Aushärtens empfohlen wird.

Die Tabellen lassen bei Temperaturerhöhung eine Tendenz zunehmender Verkleinerung bei den Meßstrecken A, B und D sowie zunehmender Vergrößerung der Meßstrecken C und E erkennen. Dabei haben nicht in jedem Falle diejenigen Modelle die größere Dimensionsabweichung vom Original, die bei dem nächsthöheren Temperaturgrad aushärteten. Mit Sicherheit können wir jedoch sagen, daß die Abweichungen der Kol-Dur-Modelle vom Original bei 80° C größer sind als bei 20° C oder bei 50° C.

Die Differenzen zwischen den Mittelwerten der bei extremen Temperaturen ausgehärteten Modelle sind durchweg signifikant. Dagegen überschneiden sich in vielen Fällen die Vertrauensbereiche der Mittelwerte von Kol-Dur-Modellen, die benachbarten Temperaturen ausgesetzt waren.

Ebenso ließ sich durch Verlängerung der Aushärtungszeit bei den Kol-Dur-Modellen in 21 von 40 Fällen eine Zunahme der Abweichungen vom Original erzielen.

Bei Erhöhung des Pulveranteils von 11 auf 13 Gewichtsteile konnten wir bei 45 verglichenen Wertepaaren in 21 Fällen eine signifikante Steigerung der linearen Abweichungen vom Original beobachten. Kol-Dur-Modelle, die bei Zimmertemperatur (20° C) ausgehärtet waren, ließen sich durch Veränderung des Pulveranteils am wenigsten in ihrem Dimensionsverhalten beeinflussen. In zwei Fällen wurden hier sogar die Abweichungen vom Original durch Erhöhen des Pulveranteils signifikant geringer.

bb. Die Formtreue der Winkel

Den Tabellen 16 bis 33 ist zu entnehmen, daß sich bei fast allen Versuchsbedingungen beide Stufenwinkel W_1 und W_2 von Kol-Dur-Modellen dem Original gegenüber signifikant vergrößert haben. In wenigen Ausnahmefällen, die im einzelnen aus den Tabellen 34 und 35 zu ersehen sind, haben sich die Winkel der Kol-Dur-Modelle denen des Originals gegenüber verkleinert. Die Werte der positiven Abweichungen reichen von 0,06 bis 0,7%, die negativen Abweichungen liegen zwischen 0,07% und 0,3%.

Die Mittelwert-Differenzen zwischen den Original-Winkeln und den Winkeln der Kol-Dur-Modelle sind bis auf wenige Ausnahmen signifikant (s. Vertrauensgrenzen in Tab. 16-33).

Für eine Tendenz zur Steigerung oder Minderung der Winkelveränderungen durch Variieren der Versuchsbedingungen geben die Tabellen weniger Anhaltspunkte als bei den Streckenveränderungen. Die Verzerrungen der Winkel scheinen kaum einer durch Temperatur, Zeit oder Mischungsverhältnis beeinflußten Gesetzmäßigkeit zu unterliegen.

c. Auswertung der Versuchsergebnisse

Das unterschiedliche Verhalten der Meßstrecken A, B und D auf der einen Seite und der Strecken C und E auf der anderen Seite kann nicht ohne den Versuch einer Erklärung hingenommen werden.

Die Seiten A, B und D hatten mit ansteigender Temperatur eine zunehmende Verkleinerung dem Original gegenüber gezeigt, während sich die Strecken C und E bei Erhöhung der Aushärtetemperatur in steigendem Maße vergrößerten. Nur bei einer Temperatur von 20° C erfuhr die Seite C ebenfalls eine Verkleinerung.

Die Vergrößerung der Meßstrecke E, die ja ein Negativ darstellt (s. Abb. 10), ist auf die Verkleinerung der positiven Teilstrecken aa zurückzuführen. Die Vergrößerung der Meßstrecke C bei Aushärtungstemperaturen von 50, 60, 70 und 80 Grad C und die Verkleinerung der gleichen Strecke bei 20 Grad C scheint zunächst jedoch unerklärlich.

Die Tatsache, daß sich das unterschiedliche Verhalten der Meßstrecke C offenbar von der angewandten Aushärtetemperatur beeinflussen läßt, deutet auf das Dimensionsverhalten von Lastic 55 hin. ILG hat festgestellt, daß sich bei Herabsetzen der Temperatur eine Abdruckhohlform vergrößert und daß eine Erhöhung der Temperatur ein verkleinertes Abdrucklumen zur Folge hat. Durch diesen Vorgang wäre die zunehmende Verkleinerung der horizontalen Meßstrecken A, B und D bei Erhöhung der Aushärtungstemperatur zu erklären, ebenso die Vergrößerung der vertikalen Meßstrecke C. Die Kol-Dur-Masse wird gewissermaßen durch die Expansion des Abdruckmaterials in der Horizontalen zusammen- und in der Vertikalen aus dem Abdruck herausgedrückt.

Die vertrauenswürdigsten Aussagen über das Dimensionsverhalten von Kol-Dur geben daher die Modelle, die wir bei 20° C in 24 Stunden aushärten ließen. Bei dieser Aushärtetemperatur fällt der Einfluß des Lastic 55 im zuvor beschriebenen Sinne weg. Die Lastic-Abdrücke, die zu einem Zeitpunkt mit Kol-Dur ausgegossen werden, an dem die Abdruckhohlform weder vergrößert noch verkleinert ist, erfahren hier keine Veränderung durch einen Wärmestoß. Es wird im Gegenteil keinerlei mechanischer Druck auf das aushärtende Kol-Dur ausgeübt, denn die

Abdruckhohlform von Lastic 55 vergrößert sich mit der Zeit (ILG).

Wir können also die Verkleinerung der Meßstrecken A, B,C und D sowie die Vergrößerung der Meßstrecke E bei einer Aus= härtungstemperatur von 20° C auf eine Kontraktion der Kol-Dur-Masse zurückführen, die unbeeinflußt vom Abdruckmaterial ist.

Bei höheren Aushärtungstemperaturen wird offenbar durch den Expansionsdruck der Abdruckmasse auf das aushärtende Kol-Dur eine zunehmende Kontraktion des Modellmaterials vorge= täuscht. Wie sich Kol-Dur unabhängig vom Abdruckmaterial bei höheren Temperaturen verhält, müßte durch weitere Versuche ge= klärt werden.

C. Schlußbetrachtung

Wie wir in der Einleitung ausführten, sollte durch unsere Untersuchungen überprüft werden, inwieweit Kol-Dur den an einen Modellwerkstoff gestellten Forderungen entspricht. Auf Grund seiner Zusammensetzung aus Gips, Kunstharz und metallischem Kupfer erwarteten wir von Kol-Dur eine glatte Oberfläche, eine große Härte und ein günstiges Volumenverhalten, d.h. eine minimale Expansion.

Bei den Oberflächenuntersuchungen mit Hilfe des LEITZ-Oberflächenmeßgerätes nach FORSTER ergab sich folgendes Bild:

Von fünf Flüssigkeits-Pulver-Mischungsverhältnissen (1:7, 1:9, 1:11, 1:13, 1:17), die wir in Abhängigkeit von Folie und Lastic 55 untersuchten, zeigte Kol-Dur im Mischungsverhältnis 1:13 die glatteste Oberfläche. Dieses Mischungsverhältnis erwies sich auch verarbeitungsmäßig bei Verwendung von Lastic 55 als Abdruckmaterial am günstigsten.

Um Kol-Dur mit anderen bekannten Modellmaterialien vergleichen zu können, haben wir die Oberfläche von Palavit M, Vel-Mix-Stone, Duroc, Divestment und DC-Bayer mitgeprüft.

In Abhängigkeit von Kunststoffolie steht Kol-Dur in seinem günstigsten Mischungsverhältnis von 1:13 hinter Palavit M an zweiter Stelle. Es folgen die auf Gipsbasis aufgebauten Modellmaterialien Vel-Mix-Stone, Duroc,Divestment und DC-Bayer.

Für die Praxis interessiert vor allem die Abhängigkeit zwischen Abdruckmaterial und Modellwerkstoff. Wir konnten die Feststellung machen, daß die Oberflächen aller sechs Materialien bei Verarbeitung in Verbindung mit Lastic 55 rauher wurden. Kol-Dur besitzt im Vergleich mit den übrigen fünf Modellmaterialien in Abhängigkeit von Lastic 55 die glatteste Oberfläche, es wird also durch den Kontakt mit Lastic 55 weniger ungünstig beeinflußt als die anderen Materialien.

Hinsichtlich seiner Oberfläche entspricht Kol-Dur somit unseren Erwartungen und den an ein Modellmaterial zu stellenden Forderungen.

Zur Ermittlung der Härte führten wir Vickers- und Ritzhärtemessungen an Kol-Dur-Proben von variablem Mischungsverhältnis

(1:7, 1:9, 1:11, 1:13, 1:17) durch, die wir auf Folie und Lastic 55 aushärten ließen.

In einer ersten Versuchsserie setzten wir die Kol-Dur-Proben verschiedenen Temperaturen (50, 60, 70, 80 Grad Celsius) im Memmertschrank für 1/2, 1, 2 und 4 Stunden aus. Da in der Praxis nicht überall ein Wärmeschrank zur Verfügung steht, wurde eine andere Serie von Kol-Dur-Proben untersucht, die wir bei Zimmertemperatur 24, 48, 72 Stunden und eine Woche härten ließen.

Wir konnten bei den durch Wärmestoß gehärteten Kol-Dur-Proben mit steigendem Pulveranteil, durch Erhöhen der Aushärtungstemperatur sowie durch Verlängern der Aushärtungszeit eine Steigerung sowohl der Vickers- als auch der Ritzhärte beobachten. Durch Aushärten auf Lastic 55 erfuhr Kol-Dur eine geringfügige Minderung der Vickers-Härte. Die höchsten Vickers- und Ritzhärtegrade erzielten wir an Kol-Dur-Proben im Mischungsverhältnis von 1:17, die im Memmertschrank zwei bis vier Stunden einem Wärmestoß von 80° C während des Härtens ausgesetzt waren (HV 29,9, HR 54,4). In der Gruppe der bei Zimmertemperatur ausgehärteten Kol-Dur-Proben wurden ähnlich hohe Härtewerte erst nach einer Aushärtungszeit von einer Woche erreicht.

Auch bei den Härtemessungen wurden zum Vergleich mit Kol-Dur die fünf Modellmaterialien Palavit M, Vel-Mix-Stone, Duroc, Divestment und DC-Bayer mituntersucht. Bei der Vickers-Härte- und bei der Ritzhärtebestimmung steht Kol-Dur mit seiner unter den günstigsten Versuchsbedingungen (1:17, 2-3 Stunden, 80° C) erreichten Härte an erster Stelle vor den übrigen Modellwerkstoffen.

Aus Gründen der Verarbeitung und des Dimensionsverhaltens von Kol-Dur müssen wir jedoch beim Vergleich mit anderen Modellmaterialien vor allem die Härte von Kol-Dur im Mischungsverhältnis von 1:13 bei 24stündiger Aushärtungszeit unter Zimmertemperatur berücksichtigen.

Unter diesen Versuchsbedingungen schneidet Kol-Dur wesentlich ungünstiger ab. Es steht mit 19 Vickers-Härtegraden hinter Vel-Mix-Stone (HV 29,3), Duroc (HV 25,7) und Divestment (HV 25,6). Bei der Ritzhärtebestimmung bleibt Kol-Dur jedoch auch unter diesen Versuchsbedingungen den übrigen auf Gipsbasis

aufgebauten Modellmaterialien überlegen. Es wird hier lediglich von Palavit M übertroffen (Ritzhärte von Palavit M 49,2, Kol-Dur 33,6, Vel-Mix-Stone 20,6, Duroc 18,4, Divestment 16,2 und DC-Bayer 10,6).

So entspricht Kol-Dur hinsichtlich seiner Ritzhärte den an einen Modellwerkstoff gestellten Forderungen. Eine große Ritzhärte kann für ein zahntechnisches Modellmaterial als besonders günstig gewertet werden, da das Werkstoffmodell durch den Gebrauch scharfer Modellierinstrumente bei der Wachsmodellherstellung in erster Linie schneidenden, kratzenden und schabenden Kräften ausgesetzt ist.

Die Beurteilung der Vickers-Härte von Kol-Dur dagegen fällt nicht so eindeutig aus. Es lassen sich unter bestimmten Bedingungen (s.o.) sehr günstige Vickers-Härtewerte für Kol-Dur erreichen, die die anderen Modellmaterialien übertreffen. Bei Verwendung von Lastic 55 zur Herstellung von Kol-Dur-Modellen, wie es von KETTENBACH empfohlen wird, müssen jedoch mit Rücksicht auf Verarbeitung und Dimensionsverhalten von Kol-Dur Versuchsbedingungen eingehalten werden, bei denen Kol-Dur erst nach einer für die Praxis unzumutbar langen Zeit seine optimale Härte erreicht.

Mit dem Härteverhalten von Kol-Dur befassen sich auch die Untersuchungen von ELSNER, der mit einer eigenen Methode die Abrasionsfestigkeit von Moldano, Duroc und Kol-Dur bestimmte.

In einigen Punkten finden wir unsere Beobachtungen über das Härteverhalten von Kol-Dur durch die Ergebnisse von ELSNER bestätigt. Entsprechend unseren Ritz- und Vickers-Härtemessungen stellte ELSNER mit steigender Aushärtungstemperatur und höherem Pulveranteil eine größere Abriebfestigkeit bei Kol-Dur fest. Auch der von uns beobachtete ungünstige Einfluß von Lastic 55 auf die Vickers-Härte von Kol-Dur wird von ELSNER für die Abrasionsfestigkeit beschrieben.

Bezüglich der Rangordnung, die Kol-Dur unter den übrigen Modellwerkstoffen einnimmt, lassen sich unsere Ergebnisse schlecht mit denen von ELSNER vergleichen, da das Mischungsverhältnis von Härterlösung und Pulver bei ELSNER (1 g Pulver/ 1,5 Tr., 2 Tr., 2,5 Tr. und 3 Tropfen Lösung) nicht eindeutig bestimmt ist. Es liegen keine Angaben über die Größe der zum Abmessen der Tropfen verwendeten Pipette vor.

ELSNER ordnet Kol-Dur hinsichtlich der Abriebfestigkeit zwischen Duroc und Moldano ein. Das würde unseren Vickers-Härtemessungen entsprechen, bei denen Kol-Dur im Mischungsverhältnis von 1:13 nach 24stündiger Aushärtungszeit bei Zimmertemperatur weicher ist als Duroc.

Die Untersuchungen über das Oberflächenprofil und die Härte erlauben allein noch kein endgültiges Werturteil über dieses Modellmaterial. Eine große Rolle in der Bewertung eines Modellwerkstoffes spielt sein Dimensionsverhalten. Von einem guten Modellmaterial wird eine minimale Expansion gefordert, um zusammen mit der Einbettmasse (Abbinde- und therm. Expansion) die Wachs- und Gußkontraktion zu kompensieren.

Wir bestimmten das Dimensionsverhalten von Kol-Dur-Modellen, die wir durch Abdrucknahme mit Lastic 55 von dem stilisierten Stahlmodell einer Inlay-Jackettkronen-Präparation gewonnen haben. Es wurden an jedem Modell fünf Strecken und zwei Winkel vermessen. Die Kol-Dur-Modelle wurden im Mischungsverhältnis Härterlösung:Pulver von 1:11 und 1:13 hergestellt und unter verschiedenen Bedingungen (Temperatur: 50, 60, 70, 80° C; Zeit: 1/2 und 4 Std., sowie 24 Std. bei Zimmertemp.) gehärtet.

Wie auf Seite 63 näher ausgeführt ist, kann eine Verkleinerung von Kol-Dur-Modellen um 0,3 bis 1,3% lin. gegenüber dem Original bei Aushärtung unter Zimmertemperatur als gesichert betrachtet werden. Durch Erhöhen des Pulveranteils von 11 auf 13 Gewichtsteile wird bei Aushärten unter Zimmertemperatur die Kontraktion von Kol-Dur teilweise geringfügig abgeschwächt.

Über eine Kontraktion von Kol-Dur bei höheren Aushärtungstemperaturen kann auf Grund unserer Ergebnisse keine eindeutige Aussage gemacht werden, da sich dem Dimensionsverhalten von Kol-Dur die Expansion der umgebenden Lastic-Masse in nicht nachprüfbarer Weise überlagert (s. S. 63). Sicher ist jedoch, daß Kol-Dur-Modelle, die bei steigender Temperatur in einer Lastic-55-Hohlform aushärten, eine zunehmende Verformung erfahren.

Die von uns ausgemessenen Stufenwinkel der Kol-Dur-Modelle haben sich unter fast allen Versuchsbedingungen zwischen 0,06 und 0,7% vergrößert. In wenigen Ausnahmefällen zeigten sich Winkelverkleinerungen zwischen 0,07 und 0,3%. Eine Abhängigkeit

der Winkelveränderungen von den verschiedenen Versuchsbedingungen konnten wir nicht eindeutig feststellen.

Auf Grund der zunehmenden Verformung der Kol-Dur-Modelle bei steigenden Aushärtungstemperaturen erscheint uns die vom Hersteller angegebene Vorschrift, Kol-Dur in einem Lastic-55-Abdruck durch Wärmestoß bis zu 80° C auszuhärten, nicht als zweckmäßig. Materialgerechter erweist sich die Aushärtung bei Zimmertemperatur, da hier die Kontraktion von Kol-Dur nicht noch zusätzlich durch Expansion der umgebenden Lastic-Masse gesteigert wird. Zur Aushärtung von Kol-Dur bei Zimmertemperatur ist jedoch eine verhältnismäßig lange Zeit (mindestens 24 Std.) notwendig, während z.B. bei Duroc, Divestment oder Vel-Mix-Stone schon nach kurzer Zeit Modelle von genügender Härte zur Verfügung stehen.

Um die unerwünschte Kontraktion von Kol-Dur zu kompensieren, müßte die Verwendung einer Abformmasse ausprobiert werden, die selbst kontrahiert (Vergrößerung der Abdruckhohlform), wie zum Beispiel Kerr (ILG).

Kol-Dur ist zwar auf Lastic 55 abgestimmt, doch läßt sich nach KETTENBACH ebenso eine thermoplastische Abform-Masse verwenden.

Für die Verarbeitung von Kol-Dur in Verbindung mit einer thermoplastischen Abform-Masse gibt die Herstellerfirma folgende Anweisung: "Man läßt die Kol-Dur-Masse zunächst etwas anziehen, damit sie nicht mehr selbständig verfließt, und stellt sie dann in den Wärmeschrank ein, wobei die wegfließende Abform-Masse in einem Schälchen aufgefangen wird."

Fassen wir abschließend noch einmal zusammen: Mit einer Kontraktion von 0,3 - 1,3% lin. schneidet Kol-Dur gegenüber anderen Modellwerkstoffen (Duroc +0,07% lin., Glastone +0,1% lin. n. HERRNSDORF, Vel-Mix-Stone +0,2% lin. n. TORESKOG, PHILIPPS u. SCHNELL) nicht sehr günstig ab. Andererseits zeichnet es sich durch eine große Ritzhärte und glatte Oberfläche vor anderen Modellmaterialien aus.

Auf Grund unserer Ergebnisse empfiehlt sich bei Verwendung von Lastic 55 als Abdruckmaterial die Verarbeitung von Kol-Dur in einem Mischungsverhältnis von 1:13 und die Aushärtung bei Zimmertemperatur innerhalb von 24 Stunden.

Entscheidend für diese Empfehlung ist das Dimensionsverhalten von Kol-Dur, das hier die geringste Kontraktion aufweist. Unter diesen Bedingungen hat Kol-Dur eine weitaus glattere Oberfläche als die mituntersuchten Modellwerkstoffe Palavit M, Vel-Mix-Stone, Duroc, Divestment und DC-Bayer. Es besitzt eine befriedigende Vickers-Härte und eine ausgezeichnete Ritzhärte, die bei dieser Versuchsanordnung lediglich durch Palavit M übertroffen wird.

D. Zusammenfassung

Die Paßgenauigkeit eines Inlays oder einer Krone hängt zu einem wesentlichen Teil von den Eigenschaften des verwendeten Modellmaterials ab.

Der von uns untersuchte Modellwerkstoff Kol-Dur (Fa. A. KETTENBACH, Wissenbach/Dillkreis) stellt eine Kombination von Kunstharz (Trimethylolmelamin), Gips und Kupferpulver dar.

Wir überprüften an Kol-Dur die für ein Modellmaterial maßgeblichen Eigenschaften - Oberflächengestalt, Härte und Dimensionsverhalten in Abhängigkeit von Mischungsverhältnis (Härterlösung/Pulver), Aushärtungszeit und -temperatur. Gleichzeitig untersuchten wir den Einfluß von Lastic 55 auf diese drei Eigenschaften. Zum Vergleich mit Kol-Dur wurden Oberflächengestalt und Härte der Materialien Palavit M, Vel-Mix-Stone, Duroc, Divestment und DC-Bayer mitbestimmt.

Wir erzielten folgende Ergebnisse:

Bei der Untersuchung der Oberflächengestalt, durchgeführt mit dem Oberflächenmeßgerät nach FORSTER (LEITZ), zeigte Kol-Dur im Mischungsverhältnis (Härterlösung/Pulver) 1:13 die glatteste Oberfläche. Kol-Dur schneidet im Vergleich mit den übrigen Modellmaterialien am günstigsten ab. Lediglich Palavit M hat bei Aushärten auf Kunststoffolie eine glattere Oberfläche als Kol-Dur. Die Oberflächengestalt aller von uns untersuchten Materialien wird durch Kontakt mit Lastic 55 ungünstig beeinflußt.

Die Vickers- und Ritzhärte wurde mit Hilfe des Kleinhärteprüfers "Durimet" (LEITZ) bestimmt.

Der Härtegrad von Kol-Dur läßt sich durch Verändern des Mischungsverhältnisses, der Aushärtungszeit und -temperatur beeinflussen. Der Kontakt mit Lastic 55 wirkt sich in geringem Maße ungünstig auf die Härte aus.

Unter den günstigsten Bedingungen (Mischungsverhältnis 1:17, 2-4 Std., 80° C) übertrifft Kol-Dur die übrigen mituntersuchten Materialien an Vickers- und Ritzhärte. Es müssen jedoch mit Rücksicht auf Verarbeitung und Dimensionsverhalten von Kol-Dur bei Verwendung von Lastic 55 Versuchsbedingungen

(Mischungsverhältnis 1:13, 24 Std. Zimmertemperatur) eingehalten werden, bei denen Kol-Dur von Vel-Mix-Stone, Duroc und Divestment an Vickers-Härte übertroffen wird. An Ritzhärte bleibt Kol-Dur auch unter diesen Bedingungen den übrigen Materialien, mit Ausnahme von Palavit M, überlegen.

Zur Bestimmung des Dimensionsverhaltens von Kol-Dur wurden durch Abformungen mit Lastic 55 von einem Phantomkörper Kol-Dur-Modelle hergestellt. Die Modelle wurden unter einem Werkstattmikroskop (LEITZ) vermessen und mit dem Original aus Chrom-Nickel-Stahl verglichen.

Kol-Dur-Modelle zeigen unter den günstigsten von uns geschaffenen Versuchsbedingungen (Mischungsverhältnis 1:13, 24 Std.,Zimmertemperatur) eine Kontraktion der Meßstrecken zwischen 0,3 und 1,3% linear und eine Vergrößerung der Stufenwinkel von 0,02 - 0,2% gegenüber dem Original.

Durch Steigerung der Aushärtungstemperatur erfahren die Kol-Dur-Modelle eine zunehmende Verformung, die wahrscheinlich durch Expansion der umgebenden Lastic-55-Masse bedingt ist.

Auf Grund unserer Ergebnisse empfiehlt sich bei Verwendung von Lastic 55 als Abformmasse die Verarbeitung von Kol-Dur im Mischungsverhältnis von 1:13 und seine Aushärtung bei Zimmertemperatur innerhalb von 24 Stunden.

Die folgenden Tabellen 16 bis 33 wurden vom Computer der zentralen Rechenanlage der Universität Marburg (Leiter: Prof. Dr. MADELUNG) ausgedruckt. Sie geben einen Überblick über das Dimensionsverhalten von Kol-Dur in Abhängigkeit von Lastic 55.

Der obere Teil der Tabellen enthält die Werte von je zehn Einzelmessungen. Mit A,B,C,D und E sind die Meßstrecken (in μ) und mit W_1 und W_2 die Stufenwinkel (in Grad und Minuten) entsprechend Abb. 10 und 11 bezeichnet. Die fortlaufenden Zahlen entsprechen den Nummern der untersuchten Kol-Dur-Modelle.

Im unteren Teil der Tabellen stehen die zugehörigen statistischen Werte (s. S. 25):

Mittel - Mittelwert
St.Abw. - Standardabweichung
Fehl.M. - Mittlerer Fehler des Mittelwertes
U.V.G. - Untere Vertrauensgrenze
O.V.G. - Obere Vertrauensgrenze
OR. - Abmessung des Originals
M.-OR. - Differenz zwischen Mittelwert und Original
Rl.D.% - Differenz in linearen Prozent

Tabelle 16

KOL.-DUR 1:11 24 H 20 GRAD C

LFD.NR.	A	B	C	D	E	W1	W2
1	9375.0	7962.0	7937.0	15821.0	3058.0	90° 0'	85°20'
2	9408.0	7953.0	7932.0	15846.0	3070.0	90°27'	85°15'
3	9408.0	7954.0	7921.0	15856.0	3057.0	90° 1'	85° 8'
4	9392.0	7954.0	7938.0	15820.0	3061.0	90° 4'	85°10'
5	9372.0	7964.0	7929.0	15843.0	3058.0	90° 3'	85° 3'
6	9381.0	7960.0	7940.0	15830.0	3064.0	90°16'	85°11'
7	9411.0	7949.0	7938.0	15832.0	3064.0	90° 4'	85° 8'
8	9420.0	7951.0	7923.0	15826.0	3061.0	90°10'	85° 7'
9	9380.0	7960.0	7927.0	15839.0	3062.0	90°13'	85°21'
10	9406.0	7946.0	7936.0	15836.0	3059.0	90° 1'	85° 8'
MITTEL	9395.3	7955.3	7932.1	15834.9	3061.4	90° 7'	85°11'
ST.ABW	17.3	5.9	6.8	11.4	3.9	0° 8'	0° 5'
FEHL.M	5.5	1.9	2.1	3.6	1.2	0° 2'	0° 1'
U.V.G.	9382.9	7951.0	7927.3	15826.7	3058.6	90° 1'	85° 6'
O.V.G.	9407.7	7959.6	7936.9	15843.1	3064.2	90°14'	85°15'
OR.	9437.0	7990.0	7986.0	16029.0	3058.0	89°54'	85° 8'
M.-OR.	-41.7	-34.7	-53.9	-194.1	3.4	0°13'	0° 3'
RL.D.%	-0.4	-0.4	-0.7	-1.2	0.1	0.258	0.061

Tabelle 17

KOL.-DUR 1:13 24 H 20 GRAD C

LFD.NR.	A	B	C	D	E	W1	W2
1	9421.0	7949.0	7954.0	15806.0	3062.0	90° 7'	84°44'
2	9425.0	7960.0	7930.0	15845.0	3071.0	89°55'	85°10'
3	9420.0	7951.0	7952.0	15841.0	3067.0	90°14'	85°27'
4	9364.0	7972.0	7951.0	15803.0	3065.0	89°54'	85°15'
5	9395.0	7964.0	7953.0	15816.0	3059.0	90° 7'	84°49'
6	9408.0	7971.0	7946.0	15812.0	3066.0	90°10'	85°20'
7	9397.0	7953.0	7938.0	15825.0	3070.0	90° 5'	85°16'
8	9408.0	7950.0	7943.0	15837.0	3072.0	90°11'	85°11'
9	9416.0	7967.0	7944.0	15831.0	3061.0	89°53'	85° 4'
10	9420.0	7945.0	7939.0	15825.0	3065.0	90°16'	85°13'
MITTEL	9407.4	7958.2	7945.0	15824.1	3065.8	90° 5'	85° 8'
ST.ABW	18.4	9.9	7.8	14.6	4.3	0° 8'	0°13'
FEHL.M	5.8	3.1	2.5	4.6	1.4	0° 2'	0° 4'
U.V.G.	9394.3	7951.2	7939.4	15813.6	3062.7	89°59'	84°59'
O.V.G.	9420.5	7965.2	7950.6	15834.6	3068.9	90°11'	85°18'
OR.	9437.0	7990.0	7986.0	16029.0	3058.0	89°54'	85° 8'
M.-OR.	-29.6	-31.8	-41.0	-204.9	7.8	0°11'	0° 0'
RL.D.%	-0.3	-0.4	-0.5	-1.3	0.3	0.208	0.018

Tabelle 18

KOL-DUR 1:11 1/2 H 50 GRAD C

LFD.NR.	A	B	C	D	E	W1	W2
1	9393.0	7930.0	8056.0	15953.0	3069.0	90°54'	85°10'
2	9372.0	7930.0	8076.0	15968.0	3068.0	90°16'	85°42'
3	9375.0	7950.0	8032.0	15954.0	3069.0	90°35'	85°19'
4	9389.0	7953.0	8025.0	15953.0	3072.0	90°14'	85°49'
5	9394.0	7956.0	8028.0	15933.0	3065.0	89°57'	85°35'
6	9397.0	7969.0	8023.0	15931.0	3067.0	89°57'	85°33'
7	9385.0	7948.0	8036.0	15956.0	3069.0	90°21'	85°43'
8	9392.0	7950.0	8041.0	15954.0	3066.0	89°54'	85°22'
9	9385.0	7954.0	8038.0	15960.0	3068.0	90°13'	85°43'
10	9377.0	7940.0	8045.0	15958.0	3069.0	90°21'	85°45'
MITTEL	9385.9	7948.0	8040.0	15952.0	3068.2	90°10'	85°34'
ST.ABW	8.7	12.0	16.1	11.5	1.9	0°14'	0°12'
FEHL.M	2.7	3.8	5.1	3.6	0.6	0° 4'	0° 4'
U.V.G.	9379.7	7939.4	8028.5	15943.8	3066.8	90° 0'	85°24'
O.V.G.	9392.1	7956.6	8051.5	15960.2	3069.6	90°20'	85°43'
OR.	9437.0	7990.0	7986.0	16029.0	3058.0	89°54'	85° 8'
M.-UR.	-51.1	-42.0	54.0	-77.0	10.2	0°16'	0°26'
RL.D.%	-0.5	-0.5	0.7	-0.5	0.3	0.300	0.511

Tabelle 19

KOL-DUR 1:11 1/2 H 60 GRAD C

LFD.NR.	A	B	C	D	E	W1	W2
1	9348.0	7930.0	8096.0	15934.0	3061.0	90°15'	85°52'
2	9351.0	7927.0	8102.0	15946.0	3063.0	90° 4'	85°40'
3	9363.0	7934.0	8090.0	15962.0	3066.0	90°12'	85° 2'
4	9342.0	7931.0	8094.0	15957.0	3063.0	90° 2'	85°34'
5	9369.0	7926.0	8096.0	15949.0	3063.0	90°15'	85°41'
6	9369.0	7934.0	8101.0	15956.0	3061.0	90°16'	85° 6'
7	9367.0	7932.0	8089.0	15948.0	3062.0	89°54'	85°38'
8	9364.0	7929.0	8100.0	15950.0	3063.0	90° 1'	85°28'
9	9368.0	7935.0	8094.0	15949.0	3065.0	90°13'	85°42'
10	9363.0	7926.0	8090.0	15942.0	3064.0	90°11'	85°36'
MITTEL	9360.4	7930.4	8095.2	15949.3	3063.1	90° 8'	85°31'
ST.ABW	9.8	3.4	4.7	7.9	1.6	0° 7'	0°15'
FEHL.M	3.1	1.1	1.5	2.5	0.5	0° 2'	0° 5'
U.V.G.	9353.4	7928.0	8091.8	15943.6	3062.0	90° 2'	85°20'
O.V.G.	9367.4	7932.8	8098.6	15955.0	3064.2	90°13'	85°43'
OR.	9437.0	7990.0	7986.0	16029.0	3058.0	89°54'	85° 8'
M.-UR.	-76.6	-59.6	109.2	-79.7	5.1	0°14'	0°23'
RL.D.%	-0.8	-0.7	1.4	-0.5	0.2	0.265	0.468

Tabelle 20

KOL-DUR 1:11 1/2 H 70 GRAD C

LFD.NR.	A	B	C	D	E	W1	W2
1	9374.0	7942.0	8103.0	15942.0	3064.0	90°14'	85°12'
2	9378.0	7936.0	8127.0	15924.0	3059.0	90°11'	85°10'
3	9357.0	7939.0	8096.0	15956.0	3067.0	90° 8'	85°26'
4	9358.0	7927.0	8102.0	15954.0	3065.0	89°58'	85°23'
5	9369.0	7934.0	8107.0	15946.0	3069.0	90° 4'	85°15'
6	9362.0	7936.0	8109.0	15949.0	3065.0	90° 9'	85°17'
7	9365.0	7942.0	8114.0	15935.0	3068.0	90° 6'	85°30'
8	9370.0	7933.0	8100.0	15942.0	3069.0	90°15'	85°32'
9	9363.0	7926.0	8109.0	15953.0	3064.0	90°17'	85°21'
10	9367.0	7935.0	8105.0	15941.0	3074.0	90°22'	85°21'
MITTEL	9366.3	7934.1	8107.2	15944.2	3066.4	90°10'	85°20'
ST.ABW	6.7	5.4	8.6	9.7	4.0	0° 6'	0° 7'
FEHL.M	2.1	1.7	2.7	3.1	1.3	0° 2'	0° 2'
U.V.G.	9361.5	7930.2	8101.0	15937.2	3063.5	90° 5'	85°15'
O.V.G.	9371.1	7938.0	8113.4	15951.2	3069.3	90°15'	85°25'
OR.	9437.0	7990.0	7986.0	16029.0	3058.0	89°54'	85° 8'
M.-U.R.	-70.7	-55.9	121.2	-84.8	8.4	0°16'	0°12'
RL.D.%	-0.7	-0.7	1.5	-0.5	0.3	0.304	0.249

Tabelle 21

KOL-DUR 1:11 1/2 H 80 GRAD C

LFD.NR.	A	B	C	D	E	W1	W2
1	9338.0	7917.0	8137.0	15929.0	3067.0	90°24'	85° 7'
2	9333.0	7923.0	8113.0	15931.0	3069.0	90°28'	85°19'
3	9330.0	7907.0	8138.0	15936.0	3063.0	90°28'	85° 0'
4	9339.0	7908.0	8131.0	15957.0	3060.0	90°30'	85°32'
5	9329.0	7912.0	8128.0	15939.0	3069.0	90°33'	84°59'
6	9331.0	7914.0	8123.0	15935.0	3066.0	90°17'	85°23'
7	9335.0	7924.0	8134.0	15942.0	3067.0	90°21'	85°25'
8	9341.0	7919.0	8124.0	15937.0	3063.0	90°26'	84°57'
9	9337.0	7920.0	8135.0	15934.0	3064.0	90°20'	85°21'
10	9339.0	7918.0	8130.0	15941.0	3063.0	90°22'	85°18'
MITTEL	9335.2	7916.2	8129.3	15938.1	3065.1	90°24'	85°14'
ST.ABW	4.2	5.8	7.7	7.8	3.0	0° 4'	0°12'
FEHL.M	1.3	1.8	2.4	2.5	0.9	0° 1'	0° 3'
U.V.G.	9332.2	7912.4	8123.8	15932.5	3063.0	90°21'	85° 5'
O.V.G.	9338.2	7920.4	8134.8	15943.7	3067.2	90°28'	85°22'
OR.	9437.0	7990.0	7986.0	16029.0	3058.0	89°54'	85° 8'
M.-U.R.	-101.8	-73.8	143.3	-90.9	7.1	0°30'	0° 6'
RL.D.%	-1.1	-0.9	1.8	-0.6	0.2	0.573	0.119

Tabelle 22

KOL-DUR 1:11 4 H 50 GRAD C

LFD.NR.	A	B	C	D	E	W1	W2
1	9383.0	7958.0	8032.0	15922.0	3066.0	90°12'	85°30'
2	9398.0	7950.0	8050.0	15915.0	3064.0	90° 5'	85°28'
3	9376.0	7952.0	8038.0	15928.0	3071.0	89°55'	85° 9'
4	9392.0	7957.0	8035.0	15921.0	3066.0	90° 2'	85°33'
5	9392.0	7961.0	8040.0	15918.0	3070.0	90°15'	84°59'
6	9386.0	7960.0	8041.0	15927.0	3069.0	89°53'	85°30'
	9382.0	7963.0	8044.0	15920.0	3065.0	90° 8'	85°27'
8	9379.0	7962.0	8035.0	15927.0	3068.0	89°59'	85°11'
9	9388.0	7951.0	8037.0	15914.0	3069.0	90°13'	85°30'
10	9395.0	7949.0	8032.0	15921.0	3064.0	90°16'	85°27'
MITTEL	9387.1	7956.3	8038.4	15921.3	3067.2	90° 5'	85°22'
ST.ABW	7.2	5.3	5.6	4.9	2.5	0° 8'	0°11'
FEHL.M	2.3	1.7	1.8	1.5	0.8	0° 2'	0° 3'
U.V.G.	9382.0	7952.5	8034.4	15917.8	3065.4	89°59'	85°14'
O.V.G.	9392.2	7960.1	8042.4	15924.8	3069.0	90°11'	85°30'
OR.	9437.0	7990.0	7986.0	16029.0	3058.0	89°54'	85° 8'
M.-OR.	-49.9	-33.7	52.4	-107.7	9.2	0°11'	0°14'
RL.D.%	-0.5	-0.4	0.7	-0.7	0.3	0.219	0.282

Tabelle 23

KOL-DUR 1:11 4 H 60 GRAD C

LFD.NR.	A	B	C	D	E	W1	W2
1	9367.0	7933.0	8098.0	15903.0	3068.0	90° 4'	85°34'
2	9369.0	7919.0	8102.0	15920.0	3077.0	90° 2'	85°36'
3	9346.0	7913.0	8096.0	15909.0	3059.0	90° 6'	85°14'
4	9368.0	7919.0	8108.0	15913.0	3073.0	90°30'	85°32'
5	9367.0	7916.0	8099.0	15901.0	3074.0	90° 6'	85° 2'
6	9365.0	7928.0	8101.0	15915.0	3070.0	90°27'	85°29'
7	9363.0	7921.0	8095.0	15904.0	3070.0	90°21'	85°35'
8	9359.0	7926.0	8102.0	15897.0	3064.0	90° 8'	85°10'
9	9357.0	7914.0	8107.0	15921.0	3068.0	90° 7'	85°28'
10	9363.0	7923.0	8105.0	15910.0	3069.0	90° 2'	85°29'
MITTEL	9362.4	7921.2	8101.3	15909.3	3069.2	90°11'	85°24'
ST.ABW	6.9	6.4	4.4	8.1	5.1	0°10'	0°11'
FEHL.M	2.2	2.0	1.4	2.6	1.6	0° 3'	0° 3'
U.V.G.	9357.4	7916.6	8098.1	15903.5	3065.6	90° 3'	85°16'
O.V.G.	9367.4	7925.8	8104.5	15915.1	3072.8	90°18'	85°33'
OR.	9437.0	7990.0	7986.0	16029.0	3058.0	89°54'	85° 8'
M.-OR.	-74.6	-68.8	115.3	-119.7	11.2	0°17'	0°16'
RL.D.%	-0.8	-0.9	1.4	-0.7	0.4	0.321	0.331

Tabelle 24

KOL-DUR 1:11 4 H 70 GRAD C

LFD.NR.	A	B	C	D	E	W1	W2
1	9377.0	7942.0	8121.0	15909.0	3059.0	90°45'	85°42'
2	9364.0	7934.0	8101.0	15917.0	3060.0	90°34'	85° 7'
3	9362.0	7912.0	8128.0	15883.0	3062.0	90°25'	85°42'
4	9356.0	7912.0	8097.0	15902.0	3067.0	90°37'	85°39'
5	9360.0	7930.0	8117.0	15905.0	3059.0	90°16'	85°33'
6	9363.0	7932.0	8121.0	15896.0	3065.0	90°45'	85°31'
7	9372.0	7915.0	8110.0	15890.0	3070.0	90°43'	85°20'
8	9368.0	7922.0	8104.0	15893.0	3069.0	90°16'	85°44'
9	9367.0	7936.0	8103.0	15892.0	3064.0	90°39'	85°46'
10	9356.0	7919.0	8114.0	15904.0	3063.0	90°41'	85°42'
MITTEL	9364.5	7925.4	8111.6	15899.1	3063.8	90°34'	85°34'
ST.ABW	6.7	10.8	10.2	10.1	4.0	0°11'	0°12'
FEHL.M	2.1	3.4	3.2	3.2	1.3	0° 3'	0° 3'
U.V.G.	9359.7	7917.7	8104.3	15891.8	3061.0	90°26'	85°25'
O.V.G.	9369.3	7933.1	8118.9	15906.4	3066.6	90°42'	85°43'
OR.	9437.0	7990.0	7986.0	16029.0	3058.0	89°54'	85° 8'
M.-OR.	-72.5	-64.6	125.6	-129.9	5.8	0°40'	0°26'
RL.D.%	-0.8	-0.8	1.6	-0.8	0.2	0.743	0.521

Tabelle 25

KOL-DUR 1:11 4 H 80 GRAD C

LFD.NR.	A	B	C	D	E	W1	W2
1	9335.0	7911.0	8136.0	15906.0	3058.0	90°33'	85°27'
2	9320.0	7896.0	8122.0	15901.0	3061.0	90°37'	85°18'
3	9317.0	7898.0	8123.0	15903.0	3069.0	90°48'	85°22'
4	9330.0	7896.0	8131.0	15891.0	3065.0	90°30'	85°33'
5	9328.0	7897.0	8123.0	15893.0	3066.0	90°24'	85°41'
6	9327.0	7907.0	8127.0	15882.0	3063.0	90°32'	85°25'
7	9324.0	7901.0	8132.0	15884.0	3065.0	90°23'	85°21'
8	9320.0	7901.0	8127.0	15895.0	3060.0	90°38'	85°15'
9	9322.0	7907.0	8129.0	15893.0	3070.0	90°15'	85°30'
10	9320.0	7893.0	8127.0	15886.0	3069.0	90°23'	85°34'
MITTEL	9324.3	7900.7	8127.7	15893.4	3064.6	90°30'	85°26'
ST.ABW	5.6	5.9	4.4	8.1	4.1	0° 9'	0° 8'
FEHL.M	1.8	1.9	1.4	2.6	1.3	0° 2'	0° 2'
U.V.G.	9320.3	7896.5	8124.5	15887.6	3061.7	90°23'	85°20'
O.V.G.	9328.3	7904.9	8130.9	15899.2	3067.5	90°37'	85°32'
OR.	9437.0	7990.0	7986.0	16029.0	3058.0	89°54'	85° 8'
M.-OR.	-112.7	-89.3	141.7	-135.6	6.6	0°36'	0°18'
RL.D.%	-1.2	-1.1	1.8	-0.8	0.2	0.673	0.364

Tabelle 26

KOL-DUR 1:13 1/2 H 50 GRAD C

LFD.NR.	A	B	C	D	E	W1	W2
	9365.0	7923.0	8022.0	15930.0	3869.0	90° 0'	85°31'
2	9369.0	7922.0	8022.0	15934.0	3870.0	89° 5'	85°18'
3	9365.0	7934.0	8061.0	15934.0	3871.0	90° 2'	85°22'
4	9360.0	7935.0	8058.0	15933.0	3868.0	90° 4'	85°26'
5	9367.0	7938.0	8061.0	15940.0	3869.0	89°55'	85°23'
6	9368.0	7936.0	8063.0	15943.0	3872.0	89°54'	85°19'
7	9365.0	7931.0	8049.0	15939.0	3867.0	90° 2'	85°30'
8	9377.0	7925.0	8052.0	15941.0	3866.0	89°52'	85°29'
9	9384.0	7932.0	8042.0	15930.0	3868.0	89°39'	85°17'
10	9367.0	7937.0	8037.0	15929.0	3867.0	89°49'	85°17'
MITTEL	9368.7	7931.3	8045.9	15935.3	3868.7	89°50'	85°23'
STABW	6.9	5.9	15.1	5.1	1.9	0°17'	0° 5'
FEHL.M	2.2	1.9	4.8	1.6	0.6	0° 5'	0° 1'
U.V.G.	9363.8	7927.1	8035.1	15931.7	3867.3	89°37'	85°19'
O.V.G.	9373.6	7935.5	8056.7	15938.9	3870.1	90° 2'	85°27'
OR	9437.0	7990.0	7986.0	16029.0	3858.0	89°54'	85° 8'
M.-OR.	-68.3	-58.7	59.9	-93.7	10.7	-1°56'	0°15'
RL.U.%	-0.7	-0.7	0.8	-0.6	0.3	-0.070	0.298

Tabelle 27

KOL-DUR 1:13 1/2 H 60 GRAD C

LFD.NR.	A	B	C	D	E	W1	W2
1	9359.0	7924.0	8100.0	15920.0	3863.0	90°12'	84°50'
2	9354.0	7918.0	8097.0	15913.0	3868.0	90°11'	85°34'
3	9359.0	7927.0	8100.0	15915.0	3866.0	90°13'	85°10'
4	9351.0	7925.0	8085.0	15917.0	3867.0	90°15'	85°35'
5	9349.0	7926.0	8084.0	15940.0	3870.0	90°12'	85°15'
6	9347.0	7918.0	8071.0	15939.0	3862.0	90°13'	85°23'
7	9355.0	7902.0	8091.0	15939.0	3863.0	90°15'	85°32'
8	9357.0	7910.0	8085.0	15930.0	3864.0	90° 6'	85°48'
9	9350.0	7912.0	8072.0	15923.0	3859.0	89°44'	85°12'
10	9343.0	7917.0	8089.0	15927.0	3865.0	89°49'	85° 4'
MITTEL	9352.4	7917.9	8087.4	15926.3	3864.7	90° 7'	85°20'
STABW	5.3	8.1	10.3	10.4	3.2	0°11'	0°17'
FEHL.M	1.7	2.6	3.3	3.3	1.0	0° 3'	0° 5'
U.V.G.	9348.6	7912.1	8080.0	15918.9	3862.4	89°59'	85° 7'
O.V.G.	9356.2	7923.7	8094.8	15933.7	3867.0	90°14'	85°32'
OR	9437.0	7990.0	7986.0	16029.0	3858.0	89°54'	85° 8'
M.-OR.	-84.6	-72.1	101.4	-102.7	6.7	0°13'	0°12'
RL.U.%	-0.9	-0.9	1.3	-0.6	0.2	0.241	0.241

Tabelle 28

KOL-DUR 1:13 1/2 H 70 GRAD C

LFD.NR:	A	B	C	D	E	W1	W2
1	9353.0	7917.0	8113.0	15960.0	3062.0	89° 49'	84° 51'
2	9350.0	7926.0	8097.0	15941.0	3057.0	89° 55'	85° 19'
3	9352.0	7905.0	8124.0	15939.0	3066.0	89° 58'	84° 22'
4	9350.0	7902.0	8118.0	15958.0	3073.0	89° 52'	85° 5'
5	9353.0	7908.0	8120.0	15952.0	3070.0	90° 20'	84° 53'
6	9346.0	7910.0	8115.0	15949.0	3062.0	90° 15'	84° 55'
7	9353.0	7909.0	8111.0	15961.0	3057.0	90° 17'	84° 56'
8	9357.0	7917.0	8104.0	15945.0	3059.0	90° 35'	84° 55'
9	9349.0	7915.0	8102.0	15956.0	3063.0	90° 21'	84° 54'
10	9348.0	7906.0	8108.0	15943.0	3065.0	90° 22'	84° 30'
MITTEL	9351.1	7911.5	8111.2	15950.4	3063.4	90° 10'	84° 52'
ST.ABW	3.1	7.2	8.5	8.2	5.3	0° 15'	0° 16'
FEHL.M	1.0	2.3	2.7	2.6	1.7	0° 4'	0° 5'
U.V.G.	9348.9	7906.4	8105.1	15944.6	3059.6	89° 59'	84° 40'
O.V.G.	9353.3	7916.6	8117.3	15956.2	3067.2	90° 21'	85° 3'
OR.	9437.0	7990.0	7986.0	16029.0	3058.0	89° 54'	85° 8'
M.-OR.	-85.9	-78.5	125.2	-78.6	5.4	0° 16'	-1° 44'
RL.D.%	-0.9	-1.0	1.6	-0.5	0.2	0.304	-0.313

Tabelle 29

KOL-DUR 1:13 1/2 H 80 GRAD C

LFD.NR.	A	B	C	D	E	W1	W2
1	9331.0	7920.0	8124.0	15954.0	3067.0	90° 1'	85° 2'
2	9324.0	7914.0	8124.0	15963.0	3063.0	90° 6'	85° 1'
3	9329.0	7905.0	8135.0	15960.0	3070.0	90° 1'	84° 59'
4	9340.0	7899.0	8140.0	15954.0	3064.0	90° 11'	85° 10'
5	9339.0	7895.0	8144.0	15955.0	3063.0	90° 4'	85° 35'
6	9330.0	7908.0	8133.0	15947.0	3066.0	90° 12'	85° 30'
7	9336.0	7907.0	8128.0	15949.0	3057.0	90° 14'	84° 51'
8	9322.0	7900.0	8145.0	15943.0	3061.0	90° 2'	84° 56'
9	9322.0	7913.0	8146.0	15955.0	3059.0	90° 13'	84° 39'
10	9328.0	7906.0	8125.0	15967.0	3061.0	90° 16'	84° 45'
MITTEL	9330.1	7906.7	8134.4	15954.7	3063.1	90° 8'	85° 2'
ST.ABW	6.6	7.6	8.9	7.3	3.9	0° 5'	0° 17'
FEHL.M	2.1	2.4	2.8	2.3	1.2	0° 1'	0° 5'
U.V.G.	9325.4	7901.3	8128.0	15949.5	3060.3	90° 3'	84° 49'
O.V.G.	9334.8	7912.1	8140.8	15959.9	3065.9	90° 12'	85° 15'
OR.	9437.0	7990.0	7986.0	16029.0	3058.0	89° 54'	85° 8'
M.-OR.	-106.9	-83.3	148.4	-74.3	5.1	0° 14'	-1° 54'
RL.D.%	-1.1	-1.0	1.9	-0.5	0.2	0.260	-0.102

Tabelle 30

KOL-DUR 1:13 4 H 50 GRAD C

LFD.NR	A	B	C	D	E	W1	W2
1	9371.0	7928.0	8044.0	15898.0	3073.0	90° 6'	84°59'
2	9374.0	7920.0	8058.0	15905.0	3071.0	90° 8'	84°47'
3	9366.0	7934.0	8046.0	15900.0	3065.0	90° 7'	84°54'
4	9367.0	7929.0	8060.0	15894.0	3072.0	90° 5'	84°44'
5	9374.0	7928.0	8059.0	15908.0	3063.0	89°50'	85° 7'
6	9372.0	7925.0	8062.0	15903.0	3061.0	89°48'	85°15'
	9369.0	7928.0	8056.0	15904.0	3058.0	90° 7'	85°11'
8	9365.0	7923.0	8055.0	15905.0	3066.0	90° 1'	84°59'
9	9370.0	7927.0	8049.0	15901.0	3070.0	89°45'	84°53'
10	9375.0	7931.0	8062.0	15896.0	3062.0	89°56'	85° 2'
MITTEL	9370.3	7927.3	8055.1	15901.4	3066.1	89°59'	84°59'
ST.ABW	3.5	3.9	6.6	4.4	5.2	0° 8'	0°10'
FEHL.M	1.1	1.2	2.1	1.4	1.6	0° 2'	0° 3'
U.V.G.	9367.8	7924.5	8050.4	15898.2	3062.4	89°52'	84°51'
O.V.G.	9372.8	7930.1	8059.8	15904.6	3069.8	90° 5'	85° 6'
OR.	9437.0	7990.0	7986.0	16029.0	3058.0	89°54'	85° 8'
M.-OR.	-66.7	-62.7	69.1	-127.6	8.1	0° 5'	-1°51'
RL.D.%	-0.7	-0.8	0.9	-0.8	0.3	0.098	-0.174

Tabelle 31

KOL-DUR 1:13 4 H 60 GRAD C

LFD.NR.	A	B	C	D	E	W1	W2
1	9336.0	7894.0	8101.0	15900.0	3070.0	90°45'	85°13'
2	9329.0	7896.0	8089.0	15904.0	3069.0	90°22'	85° 2'
3	9331.0	7888.0	8107.0	15907.0	3063.0	90° 1'	85°19'
4	9324.0	7898.0	8068.0	15892.0	3061.0	90°41'	85°32'
5	9335.0	7890.0	8079.0	15888.0	3065.0	90° 0'	85°33'
6	9328.0	7886.0	8069.0	15895.0	3074.0	90° 3'	85°30'
7	9335.0	7894.0	8072.0	15883.0	3063.0	90° 1'	85°27'
8	9340.0	7898.0	8092.0	15890.0	3065.0	90°12'	84°56'
9	9331.0	7891.0	8092.0	15885.0	3067.0	90° 3'	84°56'
10	9334.0	7895.0	8086.0	15891.0	3071.0	89°58'	85° 2'
MITTEL	9332.3	7893.0	8085.5	15893.5	3066.8	90°12'	85°15'
ST.ABW	4.6	4.1	13.3	8.0	4.1	0°17'	0°15'
FEHL.M	1.5	1.3	4.2	2.5	1.3	0° 5'	0° 4'
U.V.G.	9329.0	7890.1	8076.0	15887.8	3063.8	90° 0'	85° 4'
O.V.G.	9335.6	7895.9	8095.0	15899.2	3069.8	90°25'	85°25'
OR.	9437.0	7990.0	7986.0	16029.0	3058.0	89°54'	85° 8'
M.-OR.	-104.7	-97.0	99.5	-135.5	8.8	0°18'	0° 7'
RL.D.%	-1.1	-1.2	1.2	-0.8	0.3	0.345	0.137

Tabelle 32

KOL-DUR 1:13 4 H 70 GRAD C

LFD.NR.	A	B	C	D	E	W1	W2
1	9335.0	7905.0	8134.0	15898.0	3055.0	90°28'	85°25'
2	9327.0	7912.0	8123.0	15902.0	3055.0	90°40'	85°54'
3	9333.0	7901.0	8129.0	15896.0	3062.0	90°30'	85° 1'
4	9320.0	7910.0	8143.0	15894.0	3063.0	90°48'	85°48'
5	9321.0	7887.0	8136.0	15899.0	3068.0	90°30'	85°55'
6	9319.0	7891.0	8145.0	15892.0	3064.0	90° 0'	85°38'
7	9323.0	7890.0	8133.0	15904.0	3068.0	90° 5'	85°29'
8	9318.0	7887.0	8125.0	15895.0	3061.0	90°45'	85°48'
9	9330.0	7887.0	8128.0	15897.0	3059.0	90°48'	85°35'
10	9326.0	7902.0	8126.0	15893.0	3065.0	90°30'	85°27'
MITTEL	9325.2	7897.2	8132.4	15897.0	3062.0	90°30'	85°36'
ST.ABW	6.0	9.9	7.3	3.9	4.6	0°16'	0°16'
FEHL.M	1.9	3.1	2.3	1.2	1.5	0° 5'	0° 5'
U.V.G.	9320.9	7890.1	8127.2	15894.2	3058.7	90°18'	85°24'
O.V.G.	9329.5	7904.3	8137.6	15899.8	3065.3	90°42'	85°47'
OR.	9437.0	7990.0	7986.0	16029.0	3058.0	89°54'	85° 8'
M.-OR.	-111.8	-92.8	146.4	-132.0	4.0	0°36'	0°28'
RL.D.%	-1.2	-1.2	1.8	-0.8	0.1	0.675	0.548

Tabelle 33

KOL-DUR 1:13 4 H 80 GRAD C

LFD.NR.	A	B	C	D	E	W1	W2
1	9318.0	7902.0	8134.0	15882.0	3069.0	90°16'	85° 1'
2	9330.0	7888.0	8130.0	15879.0	3067.0	90°25'	85° 2'
3	9315.0	7885.0	8149.0	15884.0	3069.0	90°26'	85°41'
4	9324.0	7894.0	8149.0	15885.0	3074.0	90°10'	85°30'
5	9321.0	7891.0	8153.0	15891.0	3069.0	90°30'	85°17'
6	9319.0	7892.0	8146.0	15880.0	3067.0	90°43'	85° 9'
7	9325.0	7888.0	8156.0	15896.0	3065.0	90°35'	85° 7'
8	9319.0	7891.0	8155.0	15883.0	3058.0	90°15'	85°13'
9	9318.0	7887.0	8143.0	15881.0	3069.0	90°27'	85°59'
10	9320.0	7893.0	8158.0	15890.0	3074.0	90°29'	85°43'
MITTEL	9320.9	7891.1	8147.3	15885.1	3068.1	90°25'	85°22'
ST.ABW	4.3	4.8	9.3	5.5	4.6	0° 9'	0°19'
FEHL.M	1.4	1.5	3.0	1.7	1.4	0° 3'	0° 6'
U.V.G.	9317.8	7887.7	8140.6	15881.2	3064.8	90°18'	85° 7'
O.V.G.	9324.0	7894.5	8154.0	15889.0	3071.4	90°32'	85°36'
OR.	9437.0	7990.0	7986.0	16029.0	3058.0	89°54'	85° 8'
M.-OR.	-116.1	-98.9	161.3	-143.9	10.1	0°31'	0°14'
RL.D.%	-1.2	-1.2	2.0	-0.9	0.3	-0.586	0.278

Literaturverzeichnis

Black, G.V. — Konservierende Zahnheilkunde
Berlin 1914

Documenta Geigy — Wissenschaftliche Tabellen
Statistik, S.146 ff (1960)

Elsner, V. — Ein Vergleich der Abriebfestigkeit dreier Modellwerkstoffe unter Anwendung einer neuen Methode
Diss. Marburg (1968)

Frank, K. — Taschenbuch der Härteprüfung
Füssen 1956

Gehrke, M.E. — Praktische Erfahrungen mit einem neuen Modellmaterial
Zahnärztl.Praxis, S.60, März 1967

Goth, H. — Über die Verwendung verschiedener Modellwerkstoffe bei der indirekten Gußherstellung
Dtsch. zahnärztl. Z. 19, 44 (1964)

Harndt, E. — Caries, Klinik und Therapie in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Bd. II , S. 423
Urban und Schwarzenberg, München (1955)

Hehring, H. — Die Oberflächenrauhigkeit eines Palliaggusses
Dtsch.Zahn-,Mund-und Kieferheilk. 1, 117 (1957)

Herrnsdorf, U. — Vergleichende Untersuchungen der Modellmaterialien Duroc und Glastone
Med. Diss. Marburg 1966

Heuser, H. — Oberflächenmikroskopische Untersuchungen über den Randschluß von Füllungen. Teil I
Stoma (Heidelberg) 1, 5 (1948)

Heuser, H. — Oberflächenmikroskopische Untersuchungen über den Randschluß von Füllungen. Teil II
Stoma (Heidelberg) 2, 16 (1949)

Ilg, V.G. — Untersuchungen zur indirekten Technik im besonderen zur Abdruckgenauigkeit in der indirekten Technik
Dtsch.zahnärztl.Z. 21, 1226 (1954)

Ilg, V.G.
Untersuchungen zum Dimensionsverhalten der Silikon-Abdruckmassen. Teil 1-9 und Zusammenfassung
Dtsch. zahnärztl. Z., S.1377 (1958)
5, 405 (1959); 13, 895 (1959);
7, 527 (1959); 16, 1079 (1959);
9, 651 (1959); 17, 1305 (1959);
11, 773 (1959); 23, 1649 (1959);
17, 1202 (1960)

Jung, T.
Schleif- und Poliermittel
in: Leitfaden zahnärztlicher Werkstoffe und ihre Verarbeitung, S.336
Hrsg. K. Eichner, Berlin (1967)

Kettenbach, A.
Kol-Dur - ein neuartiges Stumpf-Modellmaterial
Die Zahntechnik 1, 119 (1967)

Kettenbach, A.
Persönliche Mitteilungen

Lehmann, H.
Werkstoffprüfung
Bd.I, S.238; Bd.II, S.243 f
VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1961

Martens, A.
Handbuch der Materialkunde,
Bd.I, S.241 f
Berlin 1898

Mott, B.W.
Die Mikrohärteprüfung
Berliner Union, Stuttgart 1967

Pantke, H.
Die Replica-Technik
Stoma (Heidelberg) 9, 86 (1956)

Pantke, H. u. Horn, R.
Kavitätenpräparation und sekundäre Randkaries
Zahnärztl. Praxis 21, 253 (1966)

Pantke, H.
Das Inlay
in: Praxis der Zahnheilkunde
Bd.I, Ss.9, 20
Urban und Schwarzenberg (1968)

Toreskog, S., Philipps, R.W. u. Schnell, R.J.
Properties Of Die Materials:
A Comparativ Study
J. Pros. Dent. 1, 119 (1968)

Schwindling, R. und Genieser, H.
Volumenverhalten, Härte und Bruchfestigkeit neuer zahnärztlicher Hartgipse
Dtsch. Zahn-,Mund- und Kieferheilk.
5, 317 (1962)

Schwindling, R. — Modellwerkstoffe
in: Leitfaden der zahnärztlichen Werkstoffe und ihrer Verarbeitung, S.59
Hrsg. K. Eichner, Berlin 1967

Wannenmacher, E. — Lehrbuch der klinischen Zahnheilkunde
Hrsg. Hofer, O., Reichenbach, E., v.Kreudenstein, Th.S. u.Wannenmacher,E.
Bd.II, S.702, J.A.Barth, Leipzig (1963)

Weikart, P. — Die Oberfläche von Metallen und ihre Abhängigkeit von der Bearbeitung
Dtsch. zahnärztl. Z. 15, 557 (1960)

Weikart, P. — Werkstoffkunde für Zahnärzte,
S.79 ff, S.98
Carl Hanser Verlag, München (1966)

Wienhold, J. — Untersuchungen über die Volumen- und Formveränderungen von Durit 20 und Durit 40-22
Med. Diss. Marburg 1962

Wolf, J. — Plastische Histologie der Zahngewebe
Dtsch. Zahn-, Mund- und Kieferheilk. 7, 265 (1940)

Ganz besonderen Dank schulde ich Herrn Prof. Dr. med. dent. H. Pantke für die Themenstellung der Arbeit und seine verständnisvolle Unterstützung.

Herrn Prof.Dr.med.Dr.med.dent. H. Heuser danke ich für die Übernahme des Korreferates.

Mein Dank gilt außerdem

Herrn Prof. Dr. Ihm für die Hinweise zur statistischen Auswertung der Untersuchungsergebnisse,

Herrn Dr. Hahn von der zentralen Rechenanlage der Universität Marburg für die Programmierung der statistischen Berechnungen

und der Firma A. Kettenbach, die mir freundlicherweise das benötigte Kol-Dur-Material zur Verfügung stellte.

Lebenslauf

Am 28. 10. 1938 wurde ich in Stolp/Pommern als Tochter des Zahnarztes Paul Völkner und seiner Ehefrau Ursula, geb. Stuhlmacher geboren.
Im Herbst 1944 wurde ich eingeschult. Nach unregelmäßigem Volksschulbesuch in Stolp, in verschiedenen Flüchtlingslagern Dänemarks und in Mornshausen (Kreis Biedenkopf) besuchte ich ab Ostern 1949 die Lahntalschule in Biedenkopf, an der ich am 7. 3. 1958 die Reifeprüfung bestand.
Mit dem Studium der Zahnheilkunde begann ich im Sommersemester 1958 an der Philipps-Universität in Marburg, wo ich im April 1961 die zahnärztliche Vorprüfung ablegte. Mein Staatsexamen beendete ich am 14. Februar 1964.
Ab 1. 9. 1965 bin ich an der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der Universität Marburg tätig, zunächst als Medizinalassistentin und ab 15. 10. 1965 als Verwalter einer wissenschaftlichen Assistentenstelle.
Seit dem 23. 4. 1965 bin ich mit dem Studienassessor Hans Jürgen Heide verheiratet.

Meine akademischen Lehrer an der Philipps-Universität in Marburg an der Lahn waren die Damen und Herren Professoren und Dozenten:
Braun-Falco, Dimroth, Gedigk, Grabowsky, Hamm, Hartmann, Hennis, Hering, Heuser, Hornung, Janke, Korb, Kottmeyer, Lang, Löhr, Mahr, Marx, Maurath, Meyer, Niessing, Nieth, Oksche, Pantke, Petry, Rollhäuser, Rosemann, Schmid, Seidel, Siegert, Siess, Vogt, Walcher